GEOMETRISCHE DARSTELLUNG

DER

FARBENBLINDHEIT

VON

Bruno Kolbe.

(MIT DREI FIGURENTAFELN.)

St. Petersburg, 1881.

St. Petersburg.
Oskar Kranz.

Leipzig,
E. F. Steinacker.

Buchdruckerei der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften.
(Was. Ostr., 9. Lin., № 12.)

Дозволено цензурою. С.-Петербургъ, 27-го Мая 1881 года.

Separatabdruck aus dem Programm der St Annen-Schule.

R52312

Vorrede.

Die Farbenblindheit hat in neuerer Zeit ein grosses Interesse gewonnen. Das Studium derselben wird jedoch nicht wenig durch die Widersprüche erschwert, welche sich in den Angaben der einzelnen Autoren finden. Soweit diese Widersprüche von dem prinzipiellen Standpunkte des betreffenden Forschers abhängen, kann von einer Einigung nicht eher die Rede sein, als bis das Wesen dieses eigentümlichen Leidens genauer erforscht ist — wovon wir noch weit entfernt sind. Doch giebt es noch andere, kaum weniger störende Widersprüche, die sich auf eine schwankende Nomenklatur und auf eine ungenaue Bestimmung der charakteristischen Verwechselungsfarben zurückführen lassen.

Vorliegende Arbeit ist nun ein Versuch, vom objektiven physikalischen Standpunkte aus, eine Vergleichbarkeit der nach verschiedenen Methoden erhaltenen Untersuchungsresultate zu erzielen. Zu diesem Behufe wurden die Farben durch Zahlen ausgedrückt, eine geometrische Darstellung des gesammten Farbengebietes adoptirt, und im engen Anschluss hieran eine geometrische Darstellung der Verwechselungsfarben und der Herabsetzung des Farbensinnes gewählt.

Sollten diese Zeilen dazu beitragen: hier die Aufmerksamkeit auf die Wichtigkeit der bei uns noch so vernachlässigten Prüfung

und Schulung des Farbensinnes zu lenken, und damit den Anstoss zu weiteren Untersuchungen zu geben, so wäre ihr Zweck erreicht.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, hier nochmals meinen Dank den Herren auszusprechen, die mich bereitwilligst bei meiner Arbeit unterstützten: Mein hochverehrter Lehrer, Prof. Dr. Arth. von Oettingen in Dorpat, hat mich zur numerischen Bestimmung der Farben angeregt und mich bei der technischen Herstellung meiner Farbensättigungstafel durch manchen Wink gefördert. Dr. Graf Magawly in Petersburg, stellte mir freundlichst seine reichhaltige Bibliothek und seine Instrumente zur Verfügung.

Dr. Jäsche in Dorpat verdanke ich manche literärische Notiz; ebenso den Herren Dr. Krause und Prof. Cohn in Breslau. Ausser den beiden letzteren haben die Herren DDr. Aubert (Rostock), Daae (Kragerö, Norwegen), Delboeuf (Liège), Dobrowolsky (Petersburg), Donders (Utrecht), Dor und Favre (Lyon), Fick (Würzburg), de Fontenay (Kopenhagen), Grossmann (Greifswald), Hering (Prag), Holmgren (Upsala), Joy Jeffries (Boston), Kalischer (Berlin), Leber (Göttingen), Lederer (Pola), Magnus (Breslau), Macé und Nicati (Marseille), Nikitin (Petersburg), Pflüger (Bonn), E. Pflüger (Bern), Quaglino (Pavia), Raehlmann (Dorpat), Schirmer (Greifswald), Stilling (Strassburg), Schöler (Berlin), Schön (Leipzig), Zehender (Rostock) — die Liebenswürdigkeit gehabt, mir auf meine Bitte eine Liste aller ihrer Arbeiten über Farbenblindheit und zum Theil auch ihre neuesten Publikationen über diesen Gegenstand zu schicken, wodurch mir natürlich die Arbeit sehr erleichtert wurde.

Ausserdem bin ich den Herren Schuldirektoren: DDr. Kirchner, Friesendorff, Schultze und Ottho, sowie Frl. Th. von Ertmann zu Dank verpflichtet für die Freundlichkeit, mit der sie mir hier die Untersuchung an den ihnen unterstellten Anstalten gestatteten.

Petersburg, im Mai 1881.

Bruno Kolbe.

Inhalt.

Seite

Einleitung: Geschichtliche Uebersicht 1

I. Theorie der Farbenblindheit 7
Young-Helmholtz'sche Theorie. — Hering's Theorie. — Delboef's Hypothese.

II. Numerische Bestimmung der Farben..... 16
Newton's Farbenkreis. — Nomenklatur. — Runge's Farbenkugel. Berechnung der Polarkoordinaten φ, r, σ. — Summations- und Restfarben. — Geometr. Darst. der Mischfarben. — Aequivalenz der Pigmentfarben.

III. Untersuchungsmethoden (27). (Uebersicht der Methoden)..... 28
1. Vorproben zur Erkennung der Farbenblindh. (№ 1—10). 30
2. Qualitative Methoden (№ 11—15)..... 42
3. Quantitative Methoden (№ 16—27)..... 46

IV. Geometrische Darstellung der Farbenblindheit 65
1. Skala der Farbenschwäche. Statistik. Prozentkurve.... 66
2. Qualitat. Untersuchung. — Geometr. Darstellung der Verwechselungsfarben..... 73
3. Geometrische Darstellung der individuellen Farbenblindheit. Uebersicht der gewonnenen Resultate 77

V. Schluss: Erziehung des Farbensinnes 84
Zweck und Hilfsmittel des Unterrichtes. — Geschichtliche Entwickelung des Farbensinnes. Widerlegung. — Vorschläge: Obligatorische Einführung einer periodischen Prüfung des Farbensinnes in den Schulen..... 91

Anhang: Literatur 94

Einleitung.

Geschichtliche Uebersicht.

Unter den Entdeckungen auf dem Gebiete der Physiologie hat die der Farbenblindheit in besonderem Grade das Interesse gebildeter Kreise erregt.

Kaum hundert Jahre sind es her, seit die erste verbürgte Nachricht über diese sonderbare Störung des Farbensinnes bekannt wurde. Die erste schriftliche Notiz über das Vorhandensein dieses Leidens scheint der bekannte englische Physiker Priestley brieflich im Jahre 1777 erhalten zu haben, indem Huddart[1]) ihm mitteilt, dass der Schuhmacher Harris in Maryport (Cumberland) für die rote Farbe unempfindlich sei. Ausser ihm habe sein Bruder an demselben Uebel gelitten.

Um uns eine Vorstellung von der Art des Leidens zu machen, wollen wir zwei Farbenblinde selbstredend einführen. Dr. Hochäcker, der über diesen Gegenstand gearbeitet hat, ist selbst farbenblind, und beschreibt sein Leiden folgendermassen: (pag. 260).

„Es erscheint mir z. B. das Gras hellrot, die Blätter der Bäume im Frühlinge gelblich. Gelb nenne ich Gegenstände, die auch ein

1) Der Kürze wegen sind die Autoren (im Anhange) alphabetisch geordnet und ihre Arbeiten mit fortlaufenden Buchstaben versehn, sodass bei den Citaten blos der betreffende Buchstabe und die Seitenzahl angegeben zu werden brauchten.

normales Auge als solche bezeichnet, z. B. Schwefel, Gold. Unter rot verstehe ich die Farbe des Siegellackes und der roten Aufschläge an den Uniformen. Grau nenne ich z. B. die Lippen, und bezeichne als blau die Farbe des Himmels und der Rosen.“

Ein anderer, von mir selbst untersuchter Farbenblinder äusserte: „Das Gelb der Eidotter und das Rot mancher Rosen scheint mir nur in der Helligkeit verschieden. Reife Erdbeeren erkenne ich leicht zwischen grünen Blättern, doch fällt es mir schwer, reife (d. h. gelbe) Gurken auf trockener, also grauer, Erde wahrzunehmen. Veilchen und Kornblumen erscheinen mir völlig gleichfarbig.“

Eine derartige Verwechselung der Farben erscheint auf den ersten Blick so in die Augen fallend, dass man sich wundern muss, die Kenntniss dieser Krankheit erst so spät erhalten zu haben. Bedenkt man aber, dass die Farbenblindheit in der Mehrzahl der Fälle angeboren ist, die Betreffenden also einen anderen Zustand ihres Farbensinnes gar nicht kennen, und durch Gewohnheit die Farbe der sie umgebenden Gegenstände richtig bezeichnen lernen, so versteht man leichter, wie Farbenblinde unerkannt bleiben können. Wo dennoch besonders auffällige Verwechselungen begangen werden, ist man oft geneigt, dieselben durch Mangel an Geschmack oder durch fehlende Uebung zu erklären.

Da zur Zeit der Publikation des oben citirten Briefes die Aufmerksamkeit der gelehrten Welt noch gar nicht auf diesen Gegenstand gelenkt worden war, man überhaupt nicht wusste, wie man sich diese Störung des Farbensinnes erklären solle, so betrachtete man den Fall als ein Kuriosum, ohne ihm irgend welche Bedeutung beizumessen. Da erschien im Jahre 1794 eine Schrift des Physikers John Dalton (Anhg.) die viel Aufsehn machte, weil der berühmte Gelehrte sich selbst als farbenblind bekannte, und die erste genauere Beschreibung dieses Uebels gab. — In der Folge wurde für dieses rätselhafte Leiden von den Franzosen[1]) der Ausdruck „Daltonismus“

1) Nach Delboeuf (C. pag. 891) hat Pierre Prevost in Genf zuerst den Namen «Daltonisme» gebraucht.

eingeführt, der sich auch bald in Italien und teilweise auch in Deutschland einbürgerte. Die Engländer protestirten gegen diese vermeintliche Verunglimpfung ihres grossen Landsmannes und schlugen den Namen „Farbenblindheit“ vor. So wenig auch dieser das Wesen der Sache bezeichnet, indem in den seltensten Fällen die Farbenempfindung völlig fehlt, so ist er doch dem Ausdruck „Daltonismus“ vorzuziehn, da es, wie wir schon aus obigen Beispielen ersehn können, verschiedene Arten dieses Leidens giebt und daher, streng genommen Daltonismus nur die dem Träger dieses Namens eigentümliche Rotgrünblindheit, nicht aber die Gelb-blaublindheit bezeichnen dürfte. Die von einigen Forschern vorgeschlagenen, das Wesen der Sache treffender bezeichnenden Namen (Chromatopseudopsie, Dyschromatopsie, Achromatopsie u. s. w.) haben sich nicht einzubürgern vermocht. Da nun «Farbenblindheit (colour-blindness, färgblindhet, cécité des couleurs, цвѣтовая слѣпота etc.)» mehr und mehr in Aufnahme kommt, so ist die Einführung eines neuen Namens überflüssig.

Nach der Veröffentlichung jener Arbeit John Daltons wandte sich die Aufmerksamkeit der Gelehrten mehr und mehr diesem Teile der Physiologie zu, dessen hohe praktische Bedeutung noch von keinem geahnt wurde. Der erste Versuch einer Erklärung der Farbenblindheit ist von Goethe 1798 (a u. b) gemacht worden. Seine Ansichten sind längst widerlegt, aber manche treffende Bemerkung zeugt von der Schärfe seiner Beobachtung. Die erste umfassende Untersuchung und qualitative Bestimmung der Farbenblindheit ist 1837 von Seebeck (p. 177) angestellt worden. Im Jahre 1854 wies Prof. Wilson in Edinbourgh, auf die Wichtigkeit hin, die das Unvermögen, die Signalfarben zu unterscheiden, beim Dienste an der Eisenbahn und in der Flotte haben müsse. Favre in Lyon, Stilling in Deutschland, Donders in Belgien *und besonders Holmgren in Schweden* suchten die Wichtigkeit dieser Forschungen zur allgemeinen Geltung zu bringen. Wahrhaft populär wurde dieser Zweig der Physiologie, als Holmgren (*c* p. 17) die Ursache eines Eisenbahnunglücks bei Lagerlunda (15. Nov. 1875) in der Farbenblindheit des Zugführers erkannte. Dieser Forscher kann füglich als der

Schöpfer dieses Teiles der physiologischen Optik bezeichnet werden, indem durch seine Anregung in Wort und Schrift hervorragende Gelehrte für die Sache interessirt wurden. Auch war er der erste, welcher von der Regierung die Einführung der obligatorischen Prüfung Aller sich zum Eisenbahndienste und für die Flotte Meldenden forderte. Wenige Monate nach seiner Eingabe hatte die schwedische Regierung die obligatorische Prüfung eingeführt und sich selbst damit ein glänzendes Zeugnis ihrer Fürsorge ausgestellt. Bald folgten auch die anderen Länder Europas, und jetzt dürften wol schon in allen Staaten die farbenblinden Beamten entlassen, oder auf Posten versetzt sein, wo sie nichts mit dem Signalwesen zu tun haben. (Uebrigens geht man jetzt in England damit um, die farbigen Signale durch Blickfeuer zu ersetzen). Besondere Aufmerksamkeit schenkt man zur Zeit diesem Gegenstande in Frankreich (wo Dr. Favre und Dor in Lyon und Dr. Férris für die obligatorische Einführung der Prüfung des Farbensinnes eingetreten sind) und Nordamerika[1]), wo der bekannte Statistiker der Farbenblindheit Dr. Joy Jeffries in erster Linie wirkt.

Da in der vorliegenden Arbeit die herrschenden Theorien und alle gebräuchlichen Methoden zur Prüfung des Farbensinnes besprochen werden, auch ein Kapitel über die Entwickelung des Farbensinnes beigefügt ist, so wollen wir der Kürze wegen auf die dahin bezüglichen Fortschritte hier nicht weiter eingehn, und uns auf Angabe des Wichtigsten beschränken, um den Rahmen dieser Arbeit nicht zu überschreiten. Jeder, der sich dafür interessirt, findet in der im Anhange beigefügten Uebersicht der neueren Literatur das Nötige.

In der Statistik über die Farbenblindheit haben nächst Holmgren und Joy Jeffries (in Boston) wol Dor und Favre (in Lyon), Stilling (jetzt in Strassburg), Cohn und Magnus (in Breslau) de Fontenay

---

1) Color-blindness and visual power. From the Railroad Comissioners of the State of Connecticut. Hartford, January 1881. Und: Speech of Hon. Benj. W. Harris in the house of representatives Febr. 18. 1881. Washington.

(in Kopenhagen), Grant Allen (England) am meisten gearbeitet. Im Grossen und Ganzen stimmen alle Untersuchungen darin überein, dass etwa 2 bis 4% der Männer, aber blos $\frac{1}{8}$ bis 1% der Frauen farbenblind sind. Eine Erblichkeit will Horner (pag. 321) gefunden haben, und zwar soll sich die Farbenblindheit durch die, fast ausnahmslos vom Uebel unberührt bleibenden Töchter auf die Enkel übertragen. Noch liegen nicht genügend genaue, durch Generationen fortgesetzte Untersuchungen vor, um dieses, sowie die von Favre und Delboeuf verfochtene Heilbarkeit des Leidens zu bejahen oder zu verneinen. Die betreffenden Resultate sind noch nicht von Anderen bestätigt worden, auch scheint die Zahl der Anhänger der Heilbarkeit des Uebels abzunehmen. — Ein Einfluss der Verwandschaftsheiraten hat sich nicht feststellen lassen, ebensowenig wie der Augenfarbe oder des Pupillenabstandes (Cohn). Ueber das Wesen der Farbenblindheit haben wir bis jetzt keinen Aufschluss erhalten. Die Boll-Kühne'sche Entdeckung des Sehpurpurs ist nicht so wichtig für diese Frage, da es ganze Tierklassen giebt, die des Sehpurpurs entbehren, aber augenscheinlich Farbensinn haben, wie z. B. die Schmetterlinge u. a.

Die Beobachtung, dass auch das normale Auge an den peripherischen Netzhautteilen farbenblind ist, liefert zwar eine Analogie aber keine Erklärung, denn hier haben wir es mit normalen, dort mit anormalen Zuständen der Netzhaut zu tun; ob in beiden Fällen die betreffenden Empfindungen, oder gar deren anatomische Ursachen sich decken, ist sehr die Frage.

Die von Haidenhain und Grützner entdeckte und von Cohn (*i* und *k*) näher untersuchte Hypnotisirbarkeit des Auges ist noch völlig rätselhaft. Der Hypnotisirte soll, wenn er farbenblind ist, normalsichtig auf dem einen hypnotisirten Auge werden und umgekehrt, und zwar durch einfaches Bestreichen der Schläfe, oder durch das Bedecken des einen Auges mit einem warmen Tuche oder der warmen Hand. Meine dahin bezüglichen Versuche sind gänzlich gescheitert, indem *diese* Wirkung *nie* eintrat. Uebrigens hat Cohn, wie er mir (im Nov. 1880) brieflich mitzuteilen die Freundlichkeit hatte, seine dahin

bezüglichen Untersuchungen aufgeben müssen, da die Eltern der Patienten vom Hypnotisiren einen schädlichen Einfluss auf die Gesundheit ihrer Kinder befürchten und dasselbe nicht mehr gestatten.

Eine Art künstlicher Farbenblindheit wird bisweilen durch übermässigen Genuss des Alkohols oder durch starkes Rauchen erzeugt. Regelmässig stellt sich ein Gelb- resp. Violetsehn nach einer Dosis Santonin ein[1]).

Versuche dieser Art sind besonders von Ed. Rose angestellt und von Raehlmann (*a*) und A. bestätigt worden, ohne jedoch irgend welchen Aufschluss über das Wesen der Farbenblindheit zu geben, was vorauszusehn war, da die beim normalen Auge künstlich hervorgerufenen Störungen des Farbensinnes ganz andere Ursachen haben können, als die dem Farbenblinden eigentümlichen.

Ueber Farbenblindheit ist in Russland sehr wenig veröffentlicht worden.[2]) Eine Reihe wertvoller Arbeiten über den Farbensinn von Woinow und Dobrowolsky berührt diese Frage, wenn überhaupt, nur vom theoretischen Standpunkte aus. Der verstorbene Dr. Sartisson soll sich praktisch mit der Farbenblindheit beschäftigt haben, hat aber nichts veröffentlicht, ausser einer Abhandlung, in welcher er über die statistischen Angaben Favre's, Holmgren's u. A. referirt und einige Vorschläge über die Art und Weise der Prüfung macht, welche aber keine Bedeutung mehr haben, da seitdem (1876), die Untersuchungsmethoden bedeutend vervollkommnet sind. *Nikitin* hat (in seiner Dissertation) die individuellen Schwankungen des normalen Farbensinnes vermittelst der Dor'schen Tafeln nachgewiesen und graphisch dargestellt. — *Chodin* bestimmte die Empfindlichkeit des Auges für verschiedene Pigment- und Spektralfarben, doch ist die von ihm benutzte Methode nicht recht geeignet, genaue Resultate zu geben. (vergl. Dobrowolsky (*c*, 1 pag. 189.)

---

1) Durch zweistündiges Tragen einer roten Brille erzielte ich bei verschiedenen Personen vorübergehende Blindheit für rot und grün, doch stimmten die Symptome nicht völlig mit denen der natürlichen Farbenblindheit überein.

2) Während des Druckes dieser Arbeit ist mir eine russische Uebersetzung der Abhandlung von Dr. v. Reuss in Wien (*b*.) zugegangen.

Die einzige Notiz über Statistik der Farbenblindheit, die ich erhalten konnte, war die des Dr. Krohn in Finnland, der Eisenbahnbeamten prüfte (s. Kap. IV Tabelle D.).

Was nun den augenblicklichen Stand der Untersuchungen anbelangt, so geht das Bestreben der namhaftesten Spezialisten dahin, aus der Beobachtung einseitiger Farbenblindheit einen Schluss auf das Wesen des Uebels zu ziehn. Diese Untersuchungen geben — je nachdem der betreffende Forscher Anhänger der einen oder der anderen Theorie ist — völlig entgegengesetzte Resultate, was ein Beweis dafür ist, dass wir von der Erklärung des rätselhaften Leidens noch weit entfernt sind.

Sehr selten sind die Fälle von totaler Farbenblindheit. Beobachtet wurden solche von Cohn (*d* pag. 148) (der auch darauf hinweist, dass die Blau-gelbblindheit schwer von der totalen zu unterscheiden sei), Holmgren, Magnus u. A. Prof. Quaglino teilte mir freundlichst brieflich einen von ihm beobachteten Fall mit, wo ein junges Mädchen ($H.\ m = \frac{1}{16}$, $v = \frac{1}{10}$) nur blau und schwarz unterscheiden konnte. In dem (Kap. IV) besprochenen von mir beobachteten Falle wurden alle hellen Farben für gelb, alle dunklen für blau gehalten.

I. Kapitel.

Theorie der Farbenblindheit.

Bereits 1798 versuchte Goethe eine Erklärung der Farbenblindheit, die aber, wie schon in der Einleitung bemerkt, auf einem Irrtum beruhte. Nichtsdestoweniger sind seine Arbeiten noch jetzt lesenswert, da die neuesten Beobachtungen manche seiner Bemerkungen in überraschender Weise bestätigen, so u. A. die Tatsache, dass manche Farbenblinde gewisse Mischfarben so sehn, als ob die eine Komponente über der anderen schwebe, „wie lasirt“.

Unter den Theorien welche aufgestellt worden sind, um den physiologischen Vorgang beim Sehen zu erklären, sind zwei besonders wichtig, da sie den bei der Untersuchung Farbenblinder sich ergebenden Resultaten nicht widersprechen und weil sie eine grössere Verbreitung gefunden haben.

Im Jahre 1801 hatte der geniale englische Physiker Thomas Young (pag. 53) eine Theorie des Sehens entwickelt, die aber völlig in Vergessenheit geriet, bis Helmholtz (p. 291) sie wieder an's Licht zog und in etwas erweiterter Form veröffentlichte, woher sie den Namen Young-Helmholtz'sche Theorie trägt. Später hat Hering (*a* und *b*) auf Grund der bei der Untersuchung Farbenblinder gefundenen Resultate eine neue Theorie gebracht, die zwar einige Erscheinungen bei Farbenblinden einfacher erklärt, dagegen andere Fragen fast noch weniger entschieden beantwortet, als die erstere.

1. Die Young-Helmholtz'sche Theorie (Physiol. Opt. pag. 291).

Das Wesen der Young-Helmholtz'schen Theorie ist in Kürze folgendes:

Die Lichtwellen, welche die Netzhaut unseres Auges treffen, reizen die drei verschiedenen Nervenarten in ungleichem Masse. Die drei Nervenarten werden am stärksten durch Licht grösster, mittlerer und kleinster Wellenlänge (rotes, grünes und violetes Licht) erregt. Dementsprechend haben wir rotempfindende, grünempfindende und violetempfindende Nerven, wobei wir natürlich nur den überwiegenden Eindruck zu verstehen haben, sodass bei etwaiger Unempfindlichkeit der rotempfindenden Nerven gegen rotes Licht, die Farbenempfindung derselben für grün und violet fortbestehen kann. Denken wir uns die verschiedenen Farbentöne des Spektrums nach einander auf die Abscissenachse verteilt und die zugehörigen Reizwerte für die verschiedenen Nerven als Ordinaten, so erhalten wir (Taf. I. Fig. 1.) eine graphische Darstellung der Empfindlichkeit der Netzhaut für Licht verschiedener Wellenlängen. Wie wir aus der Reizkurve sehn, setzt sich z. B. der durch gelbes Licht hervorgebrachte Eindruck zusam-

men aus einer gleichzeitigen ziemlich gleichstarken Erregung der rotempfindenden und der grünempfindenden und einem verschwindenden Bruchteile der violetempfindenden Fasern. Je nach der Stärke, in der die drei Nervenarten erregt werden, sind die Empfindungen schwächer oder stärker, d. h. die Farben erscheinen dunkler oder heller. Da es nun eine Grenze für unsere Empfindung giebt, über welche hinaus keine Steigerung sondern eine Verminderung der Empfindung der Farbe als solcher eintritt, so müssen alle Farben durch gesteigerte Intensität der Beleuchtung farblos erscheinen, d. h. in weiss übergehen. Dasselbe findet statt, wenn wir alle Farben des Spektrums zusammenfassen, oder wenn wir gewisse Farbenpaare, wie rot und blaugrün, blau und gelb u. s. w. gleichzeitig in gleicher Stärke auf das Auge wirken lassen (s. im folg. Kap.). Diese zusammengehörigen Farbenpaare, die sich zu einer farblosen Mischung ergänzen, nennt man Komplementärfarben[1]). Wie wir sehn, sieht das Auge keine einzige Farbe rein, da stets ein entsprechender Bruchteil der andern mitwirkt und sich nach obigem zu weiss zusammensetzt. Die weisslichste aller Farben ist hiernach grün, da hier die beiden anderen Komponenten den verhältnissmässig grössten Beitrag liefern.

Sobald bei einem Auge die Reizbarkeit einer dieser Nervenarten abnimmt oder gänzlich aufhört, so muss gleichzeitig die Empfindung der betreffenden Farbe modifizirt werden. Hiebei brauchen wir uns nun gar nicht zu denken, dass die entsprechenden Nerven gänzlich unempfindlich geworden sind, es genügt vielmehr anzunehmen, dass der von Lichtwellen gewisser Wellenlänge herrührende Reiz gegen den der anderen Nerven verhältnissmässig zu schwach ist und daher nicht mehr zum Bewusstsein kommt.

---

1) Die Erklärung der komplementären Farben ist einer der schwächsten Punkte der Young-Helmholtz'schen Theorie, denn die Annahme, dass durch Ermüdung des Auges für einen gewissen Farbenton die übrigen (die zusammen die komplementäre Farbe geben) stärker empfunden werden, wird hinfällig durch den Umstand, dass man auch auf schwarzem Grunde intensiv gefärbte Nachbilder erhält.

Wir können uns also die Farbenblindheit durch die herabgesetzte Tätigkeit einer der drei Nervenarten erklären. Nach dem Gesagten ist es klar, dass es drei verschiedene Arten der Farbenblindheit geben kann:

1) *Rotblindheit* (der häufigste Fall), 2) *Grünblindheit* (seltener), 3) *Violetblindheit* (am seltensten). Natürlich kann die Empfindlichkeitsverminderung verschiedene Grade erreichen. Auch kann sich die Schwäche auf zwei oder alle drei Nervenarten zugleich erstrecken, in welchem Falle wir es mit der totalen Farbenblindheit zu tun haben, bei welcher alle Farben als verschiedene Stufen des Grau erscheinen, mithin blos die Lichtempfindung nachgeblieben ist[1]).

Die *Rotblindheit* besteht also in einer relativen oder völligen Unempfindlichkeit der rotempfindenden Nerven, mithin bleiben blos zwei Farbenempfindungen, grün und violet übrig, aus denen die ganze Farbenskala des Farbenblinden zusammengesetzt ist, mithin müssen ihm alle Farben aus diesen beiden hergestellt werden können, was die Erfahrung bestätigt. Taf. I. Fig. 2. zeigt die beiden Reizkurven für das rotblinde Auge. Wie wir sehn, wird ein solches Auge von rotem Licht nur in soweit affizirt, als die grün- und violetempfindenden Fasern mit gereizt werden. Da diese Erregung verhältnissmässig schwach ist, so wird auch die Lichtempfindung selbst nur gering sein. Schwaches rotes Licht wird fast gar nicht wahrgenommen, und starkes rotes Licht kann einen dem Grün verwandten Ton haben, wenn das Verhältnis der Reizstärke des grünen und violeten Lichtes nahezu dieselbe ist. Es ist daher die Möglichkeit vorhanden, dass ein Rotblinder lichtschwaches Rot mit grau und lichtstarkes Rot mit grün verwechselt, was die Erfahrung in der Tat bestätigt.

---

1) Herings Einwand (*b* pag. 17), dass die totale Farbenblindheit nach der Young-Helmholtz'schen Theorie zusammenfiele mit totaler Blindheit ist nicht stichhaltig, wenn man bedenkt, dass für alle Farben, also auch für alle Nervenarten, die Lichtempfindung früher eintritt als die Farbenempfindung, mithin erstere schon funktioniren kann, während letztere unter der Reizschwelle bleibt.

Anm. Auf einen Umstand möchte ich hier noch aufmerksam machen, der von den Gegnern der Young-Helmholtz'schen Theorie übersehn worden zu sein scheint. Da dem Rotblinden die ganze Farbenskala sich aus grün und violet (resp. mit Zusatz von weiss oder grau) aufbaut, so ist es gar nicht unmöglich, dass die gleichzeitige gleichstarke Erregung beider ihm einen farblosen Eindruck macht, mithin die betreffende Farbe, wie man aus der Kurve (Fig. 2) sieht grünblau oder blaugrün, nicht mehr als Farbe empfunden wird, wodurch gleichzeitig Rot-blaugrünblindheit indizirt wäre. Wir können also auch nach der Young-Helmholtz'schen Theorie von einer Rot-blaugrünblindheit oder kürzer Rot-grünblindheit sprechen!

Nach dem Gesagten ist es klar, dass jede Mischfarbe dem Rotblinden einen dem Grün oder dem Violet ähnlichen Eindruck machen wird, je nachdem, welcher Eindruck vorherrscht.

Ob dem Rotblinden das spektrale Grün gesättigter erscheint als dem Normalsichtigen (was nach dieser Theorie wahrscheinlich ist), ist sehr die Frage, da die Resultate der betreffenden Untersuchungen sich direkt widersprechen. U. A. hat Raehlmann (*c* pag. 38) gefunden, dass Rotblinde grün besser wahrnehmen als Normalsichtige. Dieses ist in jüngster Zeit auch von Macé und Nicati (*d* pag. 2) behauptet worden. Dagegen haben wieder Andere gefunden, dass *Rotblindheit mit Grünblindheit verbunden ist. Meine Untersuchungen haben bisher dieses ausnahmslos bestätigt*, doch war der Grad der Herabsetzung der Empfindlichkeit für rot und grün fast immer verschieden.

Da die Rotblindheit (oder nach Anderen die Rotgrünblindheit) bei Weitem am häufigsten vorkommt, so haben wir dieselbe eingehender besprochen. Aus der Analogie ergiebt sich leicht das Wesen der Grünblindheit und der Violetblindheit. Taf. I. Fig. 3 und 4 geben ein Bild von dem Verlaufe der restirenden Reizkurve.

Falls die Empfindlichkeit für grün herabgesetzt ist, so haben wir eine *Grünblindheit.*

Hier gehn die Ansichten der einzelnen Forscher völlig auseinander. Während Schöler (*a* pag. 45) eine Grünpurpurblind-

heit annimmt[1]), verwerfen die Anhänger der Hering'schen Theorie, wie z. B. Stilling, dieselbe gänzlich. Mir sind zwar zwei Fälle begegnet, in welchen eine Grün-purpurblindheit indizirt erschien; aber leider konnte bei der Spezialuntersuchung kein entscheidendes Resultat erhalten werden, da der eine Knabe noch geistig zu unreif zu scharfen Antworten, der andere überhaupt unbegabt ist, sich also zu einer solchen Prüfung nicht eignet. Da Schöler in den von ihm beschriebenen Fällen keine quantitative Bestimmung gemacht hat, so ist das Resultat nicht sicher und kann daher nicht als ein Beweis gegen die folgende, Hering'sche Theorie gebraucht werden. Der dritte mögliche Fall wäre die Violetblindheit[2]) (Taf. I Fig. 4) die am aller seltensten ist.

Wir haben demnach:

1. Eine Rotblindheit resp. Rot-grünblindheit,
2. Eine Grünblindheit resp. Grünpurpurblindheit (?),
3. Eine Violetblindheit resp. Violet-gelbgrünblindheit (nach Maxwell Blaublindheit).

Näheres über die Young-Helmholtz'sche Theorie findet sich bei Holmgren (*c* 3 pag. 27) Jeffries (*c* pag. 26) u. A.

2. Die Hering'sche Theorie (*a* pag. 74 u. p. 118; *b*).

Gestützt auf die Tatsache, dass im Auge chemische Processe vor sich gehn, die Hering mit *Assimilirung* und *Dissimilirung* bezeichnet, gelangt Hering zu einer Theorie, die an Eleganz und Ein-

---

1) Erklärt könnte die Grünpurpurblindheit werden, wenn man annimmt, dass grünes Licht, das die rot- und die violetempf. Fasern reizt, denselben farblosen Eindruck hervorbringt, wie die Mischung von rotem und violetem Lichte selbst (d. h. für das grünblinde Auge).

2) Nach Maxwell sind die Grundempfindungen rot, grün, blau, was aber für die Theorie bedeutungslos ist.

fachheit die vorige bei weitem übertrifft, aber leider manche Erscheinungen kaum besser zu erklären vermag, als erstere.

Das Wesen der Hering'schen Theorie ist in Kürze folgendes: Es giebt sechs einfache oder Grundempfindungen der Sehsubstanz (welche etwa den Nervenfasern der Young-Helmholtz'schen Theorie entspricht). Diese Grundempfindungen ordnen sich zu drei Paaren *schwarz — weiss*, *blau — gelb*, *grün — rot*[1]). Je nach der Art des Stoffwechsels in der Netzhaut entspricht diesen dreien Paaren ein Assimilirungs- oder ein Dissimilirungsprozess; und zwar unabhängig von einander. Wir unterscheiden also drei Bestandteile der Sehsubstanz: die *schwarzweissempfindende*, die *blaugelbempfindende* und die *rotgrünempfindende* Sehsubstanz. Die schwarzweisse Sehsubstanz ist viel reichlicher im Auge vertreten, als die beiden anderen, und auch diese beiden sind unter sich nicht gleich. Alle Strahlen des sichtbaren Spektrums wirken dissimilirend auf die schwarzweisse Substanz, aber in verschiedenem Grade. Auf die blaugelbe oder auf die grünrote Substanz wirken nur gewisse Strahlen dissimilirend, gewisse assimilirend und gewisse gar nicht. Ist die gleichzeitig erregte Dissimilirung und Assimilirung der blaugelben oder der grünroten Substanz gleich stark, so hebt sich die Wirkung auf, und es bleibt nur noch die Empfindung der schwarzweissen Substanz übrig. Die beiden farbenempfindenden Substanzen sind also antagonistisch, nicht komplementär, denn sie lassen die Empfindung weiss übrig, ergänzen sich aber nicht zu weiss. Konsequenter Weise können nie zwei „Gegenfarben" gleichzeitig in einer Mischfarbe wahrgenommen werden.

Näher darauf einzugehn verbietet uns der enge Rahmen dieser Arbeit. Wir verweisen daher auf das Original (*a* und *b*).

Diese geistreiche Hypothese erklärt auf das Ungezwungenste, dass Komplementär- (hier Gegen-) -Farben gemischt weiss, resp. grau geben, sowie die Tatsache, dass man durch längeres Fixiren eines farbigen Objektes ein komplementäres Nachbild erhält, u. A.

---

1) Dieses Rot entspricht nicht dem Spektralrot, welches gelblicher ist.

m. Sie trägt also physiologischen Erscheinungen besser Rechnung als die Vorige.

Nach der Hering'schen Theorie giebt es nur zwei Arten von Farbenblinden: Rot-grünblinde und Gelb-blaublinde. Das gleichzeitige Verschwinden der Empfindung der Gegenfarben ist hiernach notwendig[1]).

Diese Theorie ist geradezu bestechend, doch ist es schwer nach derselben die verschiedene Grösse der Herabsetzung des Farbensinnes für die betreffenden Gegenfarben zu erklären, auch müsste jeder vollständig Rot-grünblinde diese Farben mit grau verwechseln, was nicht immer der Fall ist.

Weinhold (67) findet sie in unlösbarem Widerspruch mit seinen Beobachtungen. Nach Hering ist violet eine gemischte Empfindung aus blau und rot, während W. es durchaus nicht aus Spektralfarben mischen konnte. Sodann soll Rotblindheit und Grünblindheit getrennt vorkommen[2]). Wie schon oben gesagt, ist die Existenz der Grün-purpurblindheit noch zweifelhaft, kann also noch nicht als gewichtiger Einwand gegen die Hering'sche Theorie benutzt werden.

Hering selbst (27^b pag. 17) findet wiederum in den Beobachtungen an Totalfarbenblinden einen eklatanten Gegenbeweis gegen die Young-Helmholtz'sche Theorie, indem denselben beim Fehlen der rotempfindenden und der violet empfindenden Faser alles grün erscheinen müsse, was sich bei einem einseitig Farbenblinden nicht ergab.

Ob man die Young-Helmholtz'sche oder die Hering'sche Theorie annimmt, oder ob man mit Weinhold eine Verschmelzung beider vorzieht, ist für die vorliegende Arbeit nicht von Belang, da wir es hier nur mit der numerischen Bestimmung und geometrischen

---

1) Vergl. Anm. pag. 10 und 11.

2) Vergl. Anm. pag. 11. Es würde dieses meinen Beobachtungen, die wol sämmtlich einen gleichzeitig verminderten Grün- und Rotsinn ergaben, nicht unbedingt widersprechen, da die von mir beobachteten Fälle (36) vielleicht die häufigst vorkommende Art des Leidens darstellen (?).

Darstellung der charakteristischen Verwechselungsfarben zu tun haben werden; auch möchte ich Aubert (*a* pag. 184) beipflichten, wenn er sagt: dass die Untersuchungen an Farbenblinden überhaupt nicht entscheidend für die Beurteilung der einen oder der anderen Farbentheorie sind, da wir uns zu viele verschiedene Möglichkeiten bei dem physiologischen Prozess *c* des Sehens denken können, durch welche die betreffende Veränderung unserer Empfindungsfähigkeit erklärt würde.

Eine interessante Modifikation der Young-Helmholtz'schen Theorie bietet Delboeuf's Hypothese.

Prof. Delboeuf, in Lüttich, ist rot-(grün)blind und hat sein Leiden bereits in der Kindheit bemerkt. In seiner ungemein lebendig und anschaulich geschriebenen Arbeit über den Daltonismus (*c* pag. 885) schildert er seinen Zustand und die Umstände, die ihn zur Entdeckung desselben führten. Bei seinen vielen, unter Assistenz des normalsichtigen Dr. Spring angestellten Versuchen fand er zufällig in dem *Fuchsin* ein Mittel, seinen angeborenen Fehler zu korrigiren.

Betrachtete er durch eine 0,01 prozentige Lösung dieses Stoffes (in einem prismatischen Glase) das Spektrum, so erschien es ihm feuriger und vielfarbig, während er sonst nur zwei Farben, blau und gelb, wahrnahm. Eine spektroskopische Untersuchung zeigte, dass Fuchsin besonders die grünen Strahlen auslöschte. Die Wirkung des Fuchsin's wurde wieder aufgehoben durch eine 4 prozentige Lösung von *Nickelchlorür* von 4 cm. Dicke.

Auf diese Beobachtungen gestützt, gelangte Delboeuf zur Annahme, dass das farbenblinde Auge (d. h. d. rotblinde) zu empfindlich für die grüne Farbe sei, und sein Fehler mithin durch Fuchsin (resp. Rubinglas) korrigirt werden könne, durch Befreiung von dem „Hinderniss" für die Empfindung des Rot. Bildlich gesprochen, habe das normale Auge Fuchsin und das farbenblinde Nickelchlorür in der Netzhaut.

Nach monatelanger Abwesenheit von Hause, während welcher Zeit er viel mit Fuchsin gearbeitet hatte, fand er, dass ein Oelgemälde, welches ein Blumenstück darstellte, ihm jetzt viel farbiger

erscheine als ehedem. Weitere dahin bezügliche Versuche liessen ihm die *Heilbarkeit der Farbenblindheit als möglich* erscheinen.

Wie bereits oben bemerkt, ist diese Frage noch nicht entschieden, da keine genügend konstatirten Fälle der Heilbarkeit beobachtet sind.

Plateau's Oscillationstheorie welche den Akt des Sehens auf elastische Schwingungen der Netzhaut zurückführt, sowie die Theorieen von Brewster u. A. können hier wol übergangen werden, da sie manche Widersprüche enthalten, und keine weitere Verbreitung gefunden haben.

Nach Lederer (pag. 457) besteht die Unempfindlichkeit für rot in einer geringen (mangelhaften) Ausbildung der Zapfen, die des Grün in Elastizitätsabweichungen derselben, die für violet in einer entsprechenden Misbildung der Stäbchen der Netzhaut.

Prof. Fick (in Würzburg) sieht in der Rotblindheit nach der Young-Helmholtz'schen Theorie nicht ein Fehlen der betreff. Empfindung, sondern ein Zusammenfallen der Reizkurven für grün und rot u. s. w. Dem entsprechend erklärt er die totale Farbenblindheit durch ein Zusammenfallen aller drei Reizkurven, wodurch jeder Farbenton alle drei Nervenfasern gleich stark erregt, mithin blos die Lichtempfindung allein entstehn kann.

II. Kapitel.

Numerische Bestimmung der Farben.

Ehe wir auf die Methoden zur Bestimmung der Farbenblindheit eingehen, wollen wir uns nach einem Mittel umsehen, die vorkommenden Verwechselungsfarben so genau zu bestimmen, dass wir jederzeit im Stande sind, sie wieder zu erkennen. Es ist dieses um so wichtiger, als durch das blosse Nennen der verwechselten Farben

durchaus kein Vergleich der Resultate verschiedener Forscher möglich ist, indem die Art des betreffenden Farbentones, d. h. der Grad seiner Sättigung und Schattirung von Einfluss auf die Diagnose ist. — Zu diesem Zwecke wollen wir uns ein geometrisches Bild aller überhaupt möglichen Farben entwerfen, da wir auf solche Weise den besten Ueberblick erhalten.

Versuche dieser Art sind bereits von Newton und Lambert gemacht worden. Ersterer konstruirte eine Farbentafel, indem er die Spektralfarben auf die Peripherie eines Kreises verteilte u. zwar so, dass die komplementären Farben gegenüber stehen. Hiebei muss das im Spektrum fehlende Purpur den Farbenkreis schliessen. *Den Mittelpunkt bildet weiss*, und alle Farben gehen durch alle helleren Stufen allmälig nach der Mitte zu, in weiss über, und es sollen mithin konzentrische Kreise Farben gleicher Helligkeit entsprechen.

Um auch die Lichtintensitäten und die Mischfarben zu berücksichtigen, konstruirte Lambert (p. 36) seine Farbenpyramide (aus Calau'schem Wachs). Die Grundfläche derselben bildete ein gleichschenkliges Dreieck, dessen Ecken aus den drei „Grundfarben" rot, blau, gelb in dem höchst möglichen Grade der Reinheit gebildet wurden. Die Spitze der Pyramide bildete weiss. Längs den Kanten liefen also die Grundfarben zur Spitze in allen helleren Abstufungen. Jeder der Grundfläche parallele Schnitt zeigte dieselbe Anordnung der Farben in einer helleren Schattirung. Den Schwerpunkt jedes Dreiecks bildete das neutrale Schwarz, resp. Grau.

Das ganze Farbengebiet wird uns am anschaulichsten, wenn wir die zuerst von Runge (1810) konstruirte, und von E. Brücke benutzte Farbenkugel[1]) unserer Konstruktion zu Grunde legen, da sie es uns gestattet, die *Farben durch Zahlen auszudrücken*, was zum Vergleich von höchster Wichtigkeit ist.

Da verschiedene Autoren einen u. denselben Ausdruck verschieden gebrauchen, so wollen wir die von uns benutzten Ausdrücke de-

1) Die Farbenkugel ist später kurz beschrieben in einer Arbeit von Reuss (a. pag. 67).

finiren. *Farbe* nennen wir die Empfindung, welche uns Licht von irgend einer bestimmten Wellenlänge erregt. *Weiss*, als der Eindruck den alle Farben auf unser Auge machen, wenn sie gleichzeitig u. in gleicher Stärke einwirken, *ist* mithin *selbst keine Farbe*, ebensowenig *schwarz* oder die Mischung von schwarz und weiss: *grau*, denn schwarz ist die Empfindung, die durch die Abwesenheit jeglichen Lichtreizes entsteht, und grau ist ein geringerer Grad der Intensität des Weiss.

Viele Misverständnisse der Nomenklatur lassen sich auf eine Verwechselung der physikalischen und physiologischen Farben zurückführen. Erstere sind eine Wellenbewegung des Lichtäthers, die verschieden sein kann, und zwar nach der Wellenlänge, der Wellenamplitude und nach der Kombination verschiedener Lichtwellen. Die physiologischen Farben sind Eindrücke, welche die verschiedenartigen Lichtwellen auf unser Auge machen. Dieselben decken sich durchaus nicht immer mit ihren physikalischen Ursachen (worauf auch Hering (*a.* pag. 113) aufmerksam macht). So machen, wie wir sehen werden, kombinirte Lichtwellen genau denselben Eindruck, wie homogenes Licht einer gewissen mittleren Wellenlänge. Die Skala der Farbenempfindungen erreicht bei Weitem nicht die Mannigfaltigkeit der physikalischen Ursachen; so geht bei gehörig gesteigerter Intensität, für unsere Empfindung, jede Farbe in reines Weiss über, während sie bei fallender Lichtstärke auf schwarz herabsinken kann. *Physiologisch ist also:* (wenn man von der absoluten Lichtstärke absieht) *die Steigerung der Intensität einer Farbe gleichbedeutend mit einem Zusatz von weissem Licht, und* (für Pigmentfarben) *eine verminderte Intensität gleich dem Zusatz von schwarz* — doch ist der physiologische Einfluss der Intensität der Beleuchtung auf die verschiedenen Farben verschieden. So verschwinden bei eintretender Abenddämmerung die Farben eines bunten Blumenbeetes ungleich rasch. Zuerst wird rot farblos und erscheint grau bis schwarz, dann wird grün nicht mehr als Farbe wahrgenommen, und zuletzt erscheinen nur noch die blauen Blumen farbig. Selbst ein Spektrum erscheint völlig farblos, wenn es zu lichtschwach ist. *Es verschwindet also die Farbenempfindung früher als die Lichtempfindung.*

Da der Einfluss der Lichtstärke auf die Farbenempfindung noch nicht völlig aufgeklärt ist[1]), so nehmen wir eine *konstante Beleuchtungsstärke* (diffuses Tageslicht) an und können dann bei objektiven Farben folgende 3 Konstanten unterscheiden:

1. Der *Farbenton* (φ) als Funktion der Wellenlänge (λ)

2. Die *Sättigung* (r), physikalisch: Eine Kombination farbigen Lichtes mit weissem, physiologisch: die Reinheit der Farbe in Bezug auf neutrales Grau.

3. Die *Schattirung* (σ), physikalisch: Eine Funktion der Wellenamplitude in Bezug auf ein konstant gedachtes Maximum, physiologisch: Der Uebergang einer Farbe nach weiss oder schwarz (wobei der Charakter der Reinheit gewahrt wird).

Eine nach Farbenton, Sättigung und Schattirung genau bestimmte Farbe wollen wir Nüance nennen.

Beifolgende Tabelle der von verschiedenen Autoren gebrauchten Ausdrücke zeigt, dass eine Definition der vorkommenden Bezeichnungen für die Farbenabstufungen nicht unnütz ist. Es bezeichnen nämlich u. A.

Nach unserer Definition.	E. Brücke,	Aubert (a, 108.)	Helmholtz (p. 280).	Magnus	Hering (a. p. 111)
Farbenton .	Tinte.	Farbenton.	Farbenton.	Schattirung.	Farbenton.
Sättigung . .	Sättigung.	Farbennüance.	Sättigungsgrad.	Sättigung.	Nüance.
Schattirung .	Schattirung.		Lichtstärke.	Nüance.	Nüance oder Helligkeit.
Nüance	—	—	—	—	—

Ueber die Bezeichnung der Einzelfarben herrscht im Allgemeinen eine genügende Uebereinstimmung, nur wird von vielen Laien unter „Purpur“ ein reines oder gar gelbliches Rot, von Andern gar Violet verstanden, was der jetzt allgemein in der Wissenschaft mit purpur bezeichneten Mischfarbe aus rot und violet gar nicht entspricht.

1) So geht z. B. *blau* durch gesteigerte Intensität der Beleuchtung in *violettblau* über.

Konstruktion der Runge'schen Farbenkugel.

Denken wir uns eine Kugel vom Radius = 1, in Meridiane und Parallelkreise geteilt, und auf dem Aequator die Spektralfarben in der Reihenfolge der Wellenlängen derart aufgetragen, dass die Gegenfarben um 180° abstehen, sich also gegenüber befinden. Nehmen wir nun den + *Pol weiss* und den — *Pol schwarz* an, so werden, wenn wir die gesättigten Farben des Aequators allmälig in weiss und schwarz übergehen lassen, *die Meridiane alle möglichen Schattirungen der gesättigten*[1]) *reinen Farbentöne* darstellen. Die *Achse der Farbenkugel enthält* keine Farbe, sondern *alle Abstufungen des Grau* vom weiss bis schwarz. Den *Mittelpunkt der Kugel bildet neutrales Grau* das weder nach weiss noch nach schwarz hinneigt. Jeder Parallelkreis enthält demnach dieselben Farbentöne, aber in helleren oder in dunkleren Schattirungen. Ziehen wir vom Mittelpunkte einen *Radius* nach einem Punkte der Oberfläche, so *enthält* derselbe *alle Uebergänge aus neutralem Grau in die betreffende Farbe*, d. h. alle Sättigungsstufen derselben. Es ist also:

1. Der Farbenton = φ von 0° bis 360°
2. Die Sättigung = r von 0,0 bis 1,0 (resp. von 0,00 bis 1,00)
3. Die Schattirung = σ von 0° bis ± 90°

Soweit sind wir im Allgemeinen Brücke gefolgt.

Behalten wir der Einfachheit halber diese Reihenfolge *immer* bei, so können wir die Bezeichnung füglich entbehren; es heisst also:

Eine Nüance F = 45° 0,7 + 20° eine Farbe wo φ = 45°; r = 0,7 und σ = + 20°, wobei wir für reines Grau die Bezeichnung (± r) wählen wollen, da wir es als eine Sättigungstufe von weiss (+ 1) und schwarz (— 1) mit neutralem Grau (0) auffassen können.

---

1) Hering nennt Sättigung die Reinheit einer Farbe in Bezug auf schwarz, weiss und grau.

Anmerkung. Die Parallelprojektionen beider Kugelhälften auf die Aequatorialebene sind sehr schön dargestellt in v. Bezold's „Farbenlehre im Hinblick auf Kunst und Kunstgewerbe" (Braunschweig, Westermann 1874).

Die Verteilung der Farbentöne auf dem Aequator ist nicht so einfach, da zwischen den Gegenfarben kein konstantes Verhältnis besteht. Vergleichen wir z. B. nach Helmholtz (pag. 277) die Wellenlängen einiger Gegenfarben, so erhalten wir folgende Tabelle, wo die Einheit = 1 Millionstel par. Zoll ist.

Farbe	Wellenlänge λ (φ)	Gegenfarbe.	Wellenlänge λ ($\varphi + 180°$)	Verhältnis der Wellenlängen	Bemerkung.
rot	2425	blaugrün	1818	1.344	Grün hat die Gegenfarbe purpur, die, wie schon oben bemerkt, eine Mischfarbe der wenigst u. der meist-brechbaren Farbentöne des sichtbaren Spektrums ist. (Die Wellenlänge von Grün ist dazu berechnet.)
orange	2244	blau	1809	1.240	
goldgelb	2162	blau	1793	1.206	
goldgelb	2120	blau	1781	1.190	
gelb	2095	indigblau	1716	1.221	
gelb	2085	indigblau	1706	1.222	
grüngelb	2082	violet	v. 1600 ab	1.301	
grün	(1925)	purpur	—	—	

Wir sehen, dass mit wachsender Wellenlänge der Primärfarben die der Gegenfarbe anfangs langsam, dann plötzlich sich rasch ändert. „Das Verhältnis beider schwankt, wenn wir die musikalische Bezeichnungsweise anwenden, zwischen der Quarte (1,333) und der kleinen Terze (1,20)" (s. Helmholtz p. 278).

Was die Verteilung der Farbentöne auf dem Kreise anbelangt, so bin ich der Ansicht, dass man als gesättigte Farben einfach den Eindruck zu verstehen hat, den die Farbentöne des Gitterspektrums[1]

1) Beim Gitterspektrum sind die brechbaren Strahlen nicht so auseinander gezerrt, wie beim Prismenspektrum, und daher intensiver, während die weniger brechbaren Strahlen, z. B. rot, weniger zusammengedrängt sind, weshalb sie weniger intensiv erscheinen (s. Helmholz pag. 230).

auf unser Auge machen, unbekümmert um ihre scheinbar verschiedene Helligkeit (natürlich bei Anwendung von Sonnenlicht).

Die Helligkeit verschiedener Farben zu vergleichen ist sehr misslich, da hiebei die Intensität der Beleuchtung von grossem Einfluss ist. Durch geringe Schwankungen derselben kann das scheinbare Helligkeitsverhältnis zweier Farben umgekehrt werden. Die genauesten Bestimmungen dieser Art sind wol (für rotes und blaues Licht) von Dobrowolsky gemacht worden (*a* und *e*).

Um überhaupt eine rationelle Verteilung der Farben auf der Farbenkugel vornehmen zu können, ist es nötig eine fragliche Farbe mit Spektralfarben von genau bestimmter Wellenlänge vergleichen zu können. Zu diesem Zweck können wir uns vortrefflich der Metallspektren bedienen. Daher folgt eine Tabelle derselben nach M. Mascart (Ann. scientifiques de l'Ecole Normale superieure T. IV Paris 1866 (und in: Angström, Recherches sur le spectre solaire, Upsala, Schultz; Berlin Dümler). Die Wellenlänge λ ist in 10000stel Mikron (= 0,001 ^{mm}) angegeben.

Fraunhofers Linien	Metalllinie	Wellenlänge λ	φ°	Farbe	Fraunhofers Linien	Metalllinie	Wellenlänge λ	φ°	Farbe
B.	Atmosph.	6867	15°,0			Zn	**4923**	**211°,2**	blaugrün
	Li	**6706**	24,0	rot		Zn	**4911**	227,5	
(C)	(H)	**6561**	**31,2**		F.	(H)	**4860**	284,2	
	Cd	6437	44,8			Zn	4809	300,9	
	Zn	**6361**	53,3			Cd	4799	301,4	
(a)	(Atmosph.)	6275	62,7			Bi	4721	305,4	blau
	Li	6102	81,8	orange		Zn	4720	305,5	
	(Sb)	6003	92,8			Zn	4688	307,6	
(Dn)	(Na)	**5894**	104,5			Cd	4677	507,7	
(D)	(Na)	**5888**	105,2			Sr	4607	316,0	
	Ag	**5464**	151,8			Li	**4602**	316,5	
	Cd	**5377**	161,3	gelb		Sn	4523	320,0	indigo-
	Tl	**5349**	164,5			In	**4509**	321,2	blau
	Cd	5336	165,9			Cd	4415	325,3	
(E)	(Fe)	**5268**	173,4		G.	(Fe)	**4308**	330,1	
	Ag	**5207**	**180,0**	grün		Ca	4226	333,2	
b_1	(Mg)	**5182**	182,8			In	**4101**	434,0	violet.
	Cd	5084	193,5		H.	—	3967	340,0	
	Ba	4933	210,1						

Zwischen $\lambda = 0{,}6561$ und $0{,}4923$ Mikron entspricht 1° des Farbenkreises 0,00090972 (2)... Mikron.

Die eingeklammerten Werthe fehlten und wurden aus Angström (pag. 31) ergänzt. Die Linie für Indium ist Thalén entnommen (Index of Spectra by Marshall Watts, London 1872, Hillman).

Die Verteilung der Farbentöne auf dem Farbenkreise geschah, mit Hilfe obiger Tabelle der Verhältniszahlen[1]) der Gegenfarben, in der Weise, dass von rot ($\lambda = 0{,}6561$ Mikron) bis zum komplementären blaugrün ($\lambda = 0{,}4923$) die Farben einfach proportional der Wellenlänge gesetzt, und darauf die Gegenfarbe ($180^\circ + \varphi$) berechnet wurde. Siehe Tafel II Fig. 1.

Zum Nullpunkte wurde purpur gewählt, damit das reine Grün die Grenze beider Halbkreise bilde, da alsdann für die Rot-grünblinden die eine Hälfte zur gelben, die andere zur blauen Familie gehört[2]).

Es bleibt uns jetzt nur noch übrig: Methoden zu finden, für die Pigmentfarben φ, r, σ zu bestimmen, um in den Stand gesetzt zu sein, die Verwechselungsfarben so scharf zu präzisiren, dass jeder sich von denselben eine genaue Vorstellung machen kann.

Bestimmung des Farbentones (φ)

Durch den directen Vergleich der fraglichen Farbe mit dem objektiven, auf einem weissen Schirm aufgefangenen Spektrum kann man leicht mit einer für unsere Zwecke genügenden Genauigkeit die gleicherscheinende Spektralfarbe finden, deren Wellenlänge dann mit Hilfe der Metallspektren zu bestimmen ist[3]).

Bestimmung der Sättigung (r).

Nach vielen Versuchen ist es mir gelungen für Pigmentfarben, und nur auf solche kann es bei dieser Bestimmung ankommen, da die

---

1) Zu diesen Verhältniszahlen wurden einige Zwischenglieder direkt bestimmt und d. and. gradlinig interpolirt.

2) Diese Bezeichnung habe ich von einem intelligenten Farbenblinden adoptirt.

3) Eine nähere Beschreibung dieses komplizirten Experimentes ist dem Spezialisten überflüssig, und für den, der nie mit dem Spektroskop gearbeitet hat, ohne weitläufige Erläuterungen und Illustrationen gar nicht verständlich. Jedes gute Lehrbuch der Physik enthält das Nötige darüber.

Spektralfarben als gesättigte betrachtet werden können, (Siehe Anm. (pag. 21) eine genügend genaue Methode zur Bestimmung des Sättigungsgrades zu finden. Der Apparat ist im folgenden Kapitel beschrieben, daher beschränken wir uns hier darauf, die Anwendung in den einzelnen Fällen zu erläutern. Da mit der Entfernung vom grauen Rande des Kegelstumpfes der Antheil der reinen Farbe zunimmt, *so giebt*, wenn wir die Höhe des Kegels in 100 Teile teilen, *der Grad der Sättigung unmittelbar den Prozentsatz der reinen Farbe in der Mischung mit neutralem Grau.* Natürlich ist die Anzahl der brauchbaren Pigmentfarben beschränkt, andererseits ist aber auch die Anzahl der charakteristischen Verwechselungsfarben, auf die es uns vorläufig ankommt, nicht sehr gross. Durch Kombination zweier Farben kann man die Mischfarbe erzielen und so—innerhalb gewisser Grenzen — den Farbenton beliebig ändern, ist somit nicht auf die vorrätigen Pigmentfarben beschränkt.

Bestimmung der Schattirung (σ).

Die reinsten Uebergänge erhalten wir beim rotirenden Kegelstumpfe, wenn wir die entgegenstehenden Dreiecke einerseits farbig, andererseits entweder weiss oder schwarz wählen. Auch hier erhalten wir durch Graduirung der Höhe in 90 Teile unmittelbar den numerischen Wert des dem betreffenden Orte zukommenden Schattirungsgrades (σ).

Anm. Für Mischfarben ist diese Methode sehr brauchbar, weil man die neutrale Grenze sieht, wodurch man, wo es nötig, in den Stand gesetzt ist, durch nachträgliches Auftragen der schwächern Farbe diesen Punkt in die Mitte rücken zu lassen. Ausserdem giebt die Skala unmittelbar die Gewichte der betreffenden Komponenten.

Mischfarben (Summations- und Restfarben.)

Hier und im Folgenden verstehen wir unter Mischfarben stets die Mischung farbigen Lichtes, und nicht der Farbstoffe (Pigmente). Nach Helmholtz (pag. 297) sind die Mischfarben der Farbentöne des Spektrums folgende: (Die gemischten Farben stehen oben hori-

zontal und links vertikal geordnet, und die Mischfarbe steht dort, wo sich beide Reihen schneiden).

	violet	indigblau	cyanblau	blaugrün	grün	grüngelb	gelb
rot	purpur	dk. rosa	weiss rosa	weiss	weissgelb	goldgelb	orange.
orange	dk. rosa	weissrosa	weiss	weissgelb	gelb	gelb	
gelb	weissrosa	weiss	weissgrün	weissgrün	grüngelb		
gelbgrün	weiss	weissgrün	weissgrün	grün			
grün	wasserblau	wasserblau	blaugrün				
blaugrün	wasserblau	wasserblau					
cyanblau	indigblau						

dk=dunkel

Wir sehen hieraus, dass die Mischfarben um so weisslicher sind, je mehr sie im Farbenkreise auseinanderliegen und dass Komplementärfarben eine farblose Mischung (weiss) geben.

Anm. Hier muss ich bemerken, dass ich den Ausdruck „weiss" hier nur als sehr relativ auffassen kann. Für mein Auge erscheint die Mischung komplementärer Farbentöne, wenn mein Auge nicht geblendet wird, neutralgrau, was auch besser mit der Hering'schen Theorie übereinstimmt.

Diesen Mischfarben, welche durch die Summation verschiedener Lichtstrahlen entstanden sind, ist (wenn ich nicht irre von Brücke) der passende Name *„Summationsfarben"* beigelegt worden.

Betrachten wir das Spektrum durch blaues Glas, so sehen wir das rote Ende verkürzt, orange und gelb verschwinden. Das Grün ist geschwächt, ebenso Violet, nur Blau ist unverändert. Ebenso löscht gelbes Glas die blauen und violetten Strahlen aus, und schwächt die roten und grünen. Blicken wir nun durch ein blaues und ein gelbes Glas zugleich nach dem Spektrum, so sehen wir nur das stark geschwächte Grün, was nach obigem klar ist; für solche, gewissermassen durchgesiebte, nachbleibende Farben wollen wir den Namen *„Restfarben"* gebrauchen.

Mischen wir nun Farbstoffe (Pigmente), so wird, da die kleinsten Partikelchen derselben stets durchsichtige farbige Stückchen darstellen, reflektirtes, also weisses Oberflächenlicht mit dem aus dem Innern der Mischung reflektirten „restfarbigen" Licht zugleich in unser Auge gelangen, und daher wird das Gemisch die weissliche Rest-

farbe haben. Das *Gemisch von Pigmentfarben ist also keineswegs eine Mischfarbe nach unserer obigen Definition.* — Bereits 1867 hat Helmholtz ein Verfahren angegeben, um kontinuirliche Uebergänge von Mischfarben vermittelst des Maxwell'schen Kreisels zu erhalten, doch eignet sich sein „farbiger Stern" (Physiol. Opt. p. 341) nicht zur numerischen Bestimmung der Mischfarbe.

Geometrische Darstellung der Mischfarben.

Newton (vergl. Phys. Opt. pag. 293) und Lambert bedienten sich zur Konstruktion der Mischfarben des Farbendreiecks. Ersterer dachte sich von der Spitze eines gleichschenkligen Dreiecks die drei Grundfarben, aus denen die Mischfarben gebildet worden, als Gewichte (ausgedrückt durch die Intensitäten). Alsdann stellte der Schwerpunkt des Dreiecks in der Farbentafel die Mischfarbe dar. *Die Mischfarbe zweier Grundfarben liegt auf der beide entsprechende Punkte verbindenden Geraden, und zwar ist*, dem Hebelgesetze entsprechend, *die Quantität der anzuwendenden Grundfarben umgekehrt proportional ihrer Entfernung von dem Punkte, welcher der betreffenden Mischfarbe entspricht.*

Wenden wir diesen Satz auf die Runge'sche Farbenkugel an, so können wir sagen: Die Mischfarbe zweier gesättigter Farbentöne, die also auf der Kugeloberfläche liegen, befindet sich auf der beide Punkte der Oberfläche verbindenden Sehne. Jeder Punkt dieser Sehne liegt aber näher zum Mittelpunkte der Kugel, dem neutralen Grau, als die Endpunkte (die den Komponenten entsprechen), also sind die Mischfarben stets weniger gesättigt, als die ihrem Farbentone entsprechende homogene Farbe, was mit obigen Resultaten völlig übereinstimmt.

Auch das bei der Mischung von Spektralfarben gefundene Resultat, dass Komplementärfarben eine farblose Mischung geben, findet hier seinen Ausdruck, indem der Schwerpunkt des Durchmessers bei äquivalenter Quantität der Komponenten im Mittelpunkt der Kugel liegt.

Anm. Das Purpur müsste, als Mischfarbe, eigentlich auf die Sehne zu liegen kommen, welche die beiden Komponenten verbindet, da es aber die einzige Mischfarbe ist, die fast völlig den Eindruck einer gesättigten Farbe macht, so können wir, ohne einen störenden Fehler zu begehen, den Farbenkreis als Vollkreis betrachten.

Aequivalenz der Pigmentfarben.

Von ungemeiner Wichtigkeit für unsere Untersuchungen ist es, die Intensität der verschiedenen Farbentöne mit einander zu vergleichen. Wie wir später sehn werden, ist dieses mit Genauigkeit nicht möglich. Für Pigmentfarben glaube ich eine Methode gefunden zu haben, die mit annähernder Genauigkeit *für die gerade benutzten Farben* die betreffenden Mengen liefert, in denen diese Farben gemischt, sich gegenseitig das Gleichgewicht halten (wobei wir die Mischung von farbigem Lichte, von der Qualität der Pigf. meinen).

Lassen wir an meinem (Kap. III, № 26 beschr.) Farbenmesser den rotblauen Mantel rotiren, so finden wir eine purpurfarb. Grenzlinie, die weder in's Rote, noch in's Blaue spielt; ebenso erhalten wir für den rotgelben Mantel eine orange Grenze, und für den blaugelben eine fast neutralgraue. Vergleichen wir z. B. die (unmittelbar an der 100teiligen Skala abzulesenden) Gewichte der betreffenden Farben, so finden wir als *aequivalent* $r : bl = 57 : 43$; $bl : g = 52 : 48$, also $r : g = 2964 : 2064$ (oder, da für gelb $x : 100 = 2064 : 5028$ (d. h. $2964 + 2064$), so ist $g = 42$, mithin $r : g = 58 : 42$; ein direkter Versuch ergab $r : g = 56 : 44$. (Differenz $= 1{,}381 - 1{,}273 = 0{,}108$).

Ebenso erhielt ich für rot : *grün* durch Rechnung 61 : 39, direkt 60 : 40. (Diff. = 0,014). Wir können mithin sagen:

«*Für eine als konstant gedachte Pigmentfarbe können wir die aequivalente Menge jeder anderen Pigmentfarbe bestimmen.*»[1])

1) Hierbei ist natürlich nur von der Intensität der Pigmentfarbe die Rede, welche durch das Einreiben der Papierfläche auf dem Kegelmantel erzielt werden kann.

Anm. Als Basis möchte ich das *mittlere Chromgelb* (Oelfarbe von Mewes in Berlin) empfehlen, da es sich ungemein gleichmässig auf eine Papierfläche auftragen lässt. (Nach dreimaligem Auftragen konnte ich durch weiteres Einreiben keine Steigerung der Intensität mehr erzielen.)

Für Spektralfarben kann erst dann von einer Aequivalenz die Rede sein, wenn wir im Stande sein werden, die Maximalintensität jedes Farbentones zu bestimmen.

III. Kapitel.

Die Untersuchungsmethoden.

Eine Uebersicht der gebräuchlichsten Methoden zur qualitativen Prüfung des Farbensinnes findet sich bei Reuss (*a*), Pflüger (*c* pag, 1), Cohn (*d* pag. 8), Holmgren (*c* 3 pag. 102) und Anderen. Dobrowolsky (*c*, pag. 441) hat die quantitativen Spektralmethoden kritisirt, doch sind von keinem alle Methoden berücksichtigt worden.

Da ich fast alle mir bekannten Methoden — wenigstens versuchsweise — durchprobirt habe, so wird es vielleicht nicht unwichtig sein, die gewonnenen Erfahrungen mitzuteilen, selbst auf die Gefahr hin, diesem Abschnitt der Arbeit einen im Verhältnis zum Ganzen ungebührlich grossen Raum zuweisen zu müssen.

Holmgren teilt die Methoden ein in Methoden erster Hand und zweiter Hand. Um das bei der betreffenden Untersuchung verfolgte Ziel deutlicher hervortreten zu lassen, unterscheiden wir:

1. Methoden zur Erkennung der Farbenblindheit. (10)

A. Das Sortiren von farbigen Pigmenten nach der Schattirung. (2)

№ 1. *Holmgren's Wollproben.*

№ 2. *Cohn's* farbige Pulver.

B. Vergleichung von Gegenfarben. (5)

№ 3. *Polarisirtes Licht* (*Ed. Rose's* «Lichtmesser»).

№ 4. *Farbige Schatten* (*Stilling*).

№ 5. Farbige Spiegelreflexe (*Ragona Scina*).

№ 6. Kontrastfarben durch Florpapier (*Weber*, *Pflüger*).

№ 7. Farbige Nachbilder (*Schirmer*).

C. Zusammenstellung von Verwechselungsfarben.

№ 8. *Pseudoisochromatische Tafeln* (*Stilling*).

№ 9. Gestickte Buchstaben (*Cohn*).

№ 10. *Stickwolltafeln* (*Daae*).

2. Methoden zur qualitativen Bestimmung des Farbensinnes. (5)

№ 11. Mischfarben durch Pigmente (Maxwell's Kreisel).

№ 12. Mischung von Spektralfarben (*Schöler*, *Hirschberg*).

№ 13. Nachlegen des Spektr. in farb. Wollen (*Magnus*).

№ 14. Nachlegen der Metalllinien (*Cohn*).

№ 15. Vergleich isolirter, identisch erscheinender Teile des Spektrums.

3. Methoden zur quantitativen Bestimmung des Farbensinnes.

A. Untersuchungen mit *Spektralfarben.*

Messung der minimalen Intensität.

a. Durch Anwendung polarisirten Lichtes.

№ 16. Die Methode von *Lamansky.*

№ 17. Die Methode von *Dobrowolsky.*

№ 18. Die Methode von *Raehlmann.*

b. Durch Anwendung einer gleichzeitigen Sehprobe.

№ 19. Die Methode von *Macé* und *Nicati.*

Messung der minimalen Zeit.

№ 20. *Kunkel's* rotirende Scheiben.

№ 21. *Vierordt's* Pendelapparat.

B. Pigmentfarben.

№ 22. Messung des min. Zusatzes einer Farbe (*Aubert*).

Messung des minimalen Gesichtswinkels:

№ 23. Methode von *Donders*.

№ 24. *Dor's Tafeln.*

№ 25. *Weber's Apparat.*

Messung des minimalen Sättigungsgrades einer Farbe:

№ 26. *Der Farbenmesser* (Kolbe).

№ 27. Die Farben-Sättigungstafel (Kolbe).

In dieser Uebersicht sind Woinow's Farbenkreise[1]), sowie Hirlinger's Tafeln[2]), Snellen's farbige Buchstaben[3]) und Lips's Farbendreieck[4]) nicht angeführt, da dieselben sich weder zu Massenuntersuchungen noch zur Spezialprüfung eignen.

I. Methoden zur Erkennung der Farbenblindheit.

Von allen mir bekannten Methoden zur Vorprüfung, d. h. zu Massenuntersuchungen, verdient die von Holmgren den Vorzug. Sie ist bei gehöriger Uebung des Untersuchenden völlig sicher, in-

---

1) Woinow versuchte auf dem Maxwell'schen Kreisel konzentrische Ringe aus den am leichtesten verwechselten Mischfarben herzustellen, so dass, je nach nach dem Grade der Farbenblindheit 1, 2, 3 Ringe dem Untersuchten farblos erscheinen. Der Zweck war der: rasch Massenuntersuchungen anzustellen. Diese Methode versagt völlig.

2) Hirlinger's Tafeln enthalten zwei Gruppen von Farben; die erste enthält rot, orange, gelb, grün, blau, violet in drei Schattirungen; die zweite zeigt dieselben Farben vermischt. Sehr störend wirkt hier die gleichzeitige Sichtbarkeit aller Farben. Welches Princip der Anwendung zu Grunde zu legen sei, ist nicht ersichtlich.

3) Snellen's farbige Buchstaben sind wol nur für sehr hochgradig Farbenblinde brauchbar. Sie enthalten 5 Zeilen mit farbigen Buchstaben (rosa, gelb, grün, blau, grau), deren Farbe der Untersuchte anzugeben hat. (Cohn *d* pag. 16.)

4) Lips's Farbendruck besteht in einem gleichseitigen Dreieck von 50cm. Seite, wo die Grundfarben rot, gelb, blau in die Ecken gesetzt, und den Seiten des Dreiecks entlang die (vermeintlichen!) Mischfarben angebracht sind. In der Mitte sollte das reine Schwarz sein. (Klin. Monatsbl. f. Aug. 1878. Beilageheft XVI. pag. 139). Bereits im Jahre 1772 hat Lambert in der Basis seiner Farbenpyramide dasselbe geliefert.

dem bei sorgfältiger Handhabung derselben kein herabgesetzter Farbensinn $\geqq 0{,}2$ (s. u. Kap. IV) entgeht, und gestattet 50 bis 60 Personen in der Stunde zu untersuchen, was von keiner der anderen auch nur annähernd erreicht wird. Die Angriffe, welche diese Methode von einigen Forschern erfahren hat, sind mir völlig unverständlich, da es gar nicht anzunehmen ist, dass ein Spezialist nicht sollte mit ihr umgehen können. *Allerdings ist es durchaus notwendig, genau die von Holmgren* aus seiner reichen Erfahrung *aufgestellten Regeln zu beobachten.*

Bereits im Jahre 1837 hatte Seebeck sich, bei der Untersuchung Farbenblinder des Sortirens farbiger Papiere bedient. Allein seine Methode war so umständlich und zeitraubend, dass sie keinen Anklang finden konnte. Er wies auch auf den Vorteil hin, den «farbige Wollen» haben könnten, da sie «keinen Glanz» hätten.

Holmgren's unbestreitbares Verdienst ist es nun: diese Methode, an der Hand der Young-Helmholtz'schen Theorie, durch eine zweckentsprechende Auswahl von wenigen Probefarben, leistungsfähig gemacht zu haben.

(№ 1.) *Holmgren's Wollproben* (*c* 3 pag. 120).

Prof. Frithjof Holmgren in Upsala lässt den Untersuchten aus einem grossen Haufen bunter Wollbündel zunächst eine Probefarbe (I, grün) nach Schattirungen aussuchen. Hat er hierbei die charakteristischen Verwechselungsfarben mit zugelegt, so muss er die zweite Probefarbe (II^a, purpur) ebenso heraussuchen. Begeht er auch hier Fehler, so kommt die dritte (II^b, rot).

Wie wir sehen, befolgt diese Methode den richtigen Grundsatz: den Untersuchten selbsttätig zu Werke gehen zu lassen, ohne dass er die Namen der Farben zu nennen braucht. Meine Untersuchungen bestätigen durchaus die schon längst von Anderen gemachte Beobachtung, dass die gleichbenannten und die für gleich anerkannten, d. h. ausgesuchten Farben keineswegs immer dieselben sind, womit erwiesen ist, dass Methoden unbrauchbar sind, die sich auf das blosse Nennenlassen der Farben beschränken. Dieses hat u. A. Cohn in seinen «Studien zur angeborenen Farbenblindheit» ausdrück-

lich anerkannt, aber nicht immer befolgt, was sehr zu bedauern ist, da seine Beobachtungen von 100 Farbenblinden, was die qualitativen Bestimmungen anbelangt, sonst wohl das vollständigste Protokoll über diesen Gegenstand bilden würden, das bis jetzt vorliegt.

Holmgren's Probefarben sind:[1])

I. Ein mattes helles Grün [175° 0,7 ± 60° s. oben pag. 20] Im Spektrum rot, grün, violet, schwach gelb und besonders blau. Diese Farbe ist sehr glücklich gewählt. Selbst Normalsichtige legen, wenn sie ungeübt sind, leicht bläuliche oder gelbliche Farbentöne hinzu. Von dieser Farbe haben mir mehrere Farbenblinde (auch ein gelb-blaublinder) übereinstimmend gesagt: „Dieses ist die unangenehmste Farbe." Ein besseres Kompliment hätten sie Holmgren's Wahl nicht machen können.

Im Gegensatz hiezu findet Cohn eine Vorprüfung mit grüner Wolle unnütz und die mit Purpur völlig genügend und zeitsparender. Um hierüber zu entscheiden, habe ich mehrere Hundert[2]) Schulkinder nach beiden Proben aussuchen lassen und fand, dass häufig die Purpurwollen richtig ausgesucht wurden, während zum reinen Grün bläuliche oder gebliche Farbentöne beigelegt wurden, was dafür spricht, dass die Wahl Holmgren's in der Tat richtig ist. Doch muss ich hinzufügen, dass mir kein Fall von deutlich herabgesetztem Farbensinn (0,3 u. mehr) vorgekommen ist, wo die Purpurprobe versagt hätte.

II[a] Purpur [0° 0,9 ± 20°] Im Spektr. *rot*, orange, *grün*, blau, *violet*.

Diese Probefarbe scheint mir zu gesättigt und etwas zu dunkel. Nach meiner Erfahrung wird 0° 0,7 ± 60° leichter verwechselt.

---

1) Um Holmgren's Wollen in der richtigen Auswahl zu erhalten, bezog ich dieselben durch die von ihm selbst empfohlene Wollhandlung des Frl. Letty Oldberg in Upsala (5 Kronen = c. 5,63 Mark). Ausserdem hatte Prof. Holmgren die Freundlichkeit mir, auf meine Bitte, die Proben I und II zu übersenden, sodass ich in der Nüance sicher bin.

2) Später habe ich die Prüfung in derselben Weise fortgeführt und dasselbe Resultat erhalten. d. Verf.

Auch musste ich das erhaltene Sortiment (s. Anm. a. d. v. S.) ergänzen durch purpurrote und purpurviolete Schattirungen; ebenso fehlten die zur Bestimmung der Blaugelbblindheit nicht unwichtigen gelb- und orangebraunen Schattirungen, und genügend reines Grau.

Probe II^b Rot [30° 0,9 + 10°]. Im Spektrum: *rot*, etw. orange, wenig gelb und grün.

Was die Art und Weise der Prüfung anbelangt, so ist dieselbe sehr einfach, doch tut man, wie gesagt, wol daran, sich genau an Holmgren's Vorschriften (*c* pag. 139) zu halten. Zur sicheren Diagnose reicht diese Methode nicht aus, wenn man die Rotblindheit von der Grünblindheit trennen will.

Nach H. hat einen schwachen Farbensinn, wer zur Probe I keine Verwechselungsfarben legt, aber dazu hinneigt.

Unvollständig farbenblind ist der, welcher die Probe I nicht besteht, wohl aber II^a.

Vollständig rotblind ist: wer zu II^a mittleres oder dunkleres Blau oder Violet oder wer zu II^b grün oder grau legt.

Vollständig grünblind ist: wer zu II^a dunkelgrün oder grau oder zu II^b helleres Grün oder Braun aussucht.

Ueber seine Tafel der Verwechselungsfarben[1]) sagt Holmgren selbst pag. 134: „Diese Tafel hat zunächst nicht den Zweck, bei der Untersuchung direkt gebraucht zu werden, wiewol man sie ausnahmsweise dazu benutzen könnte. Sie soll vielmehr lediglich dem Arzte bei der Auswahl der geeigneten Probefarben, oder bei der Beurteilung des gefundenen fehlerhaften Farbensinnes als Leitfaden dienen."

Zur quantitativen Abschätzung bedient sich Holmgren einer dreistufigen Skala:

alle Fälle von	schwachem Farbensinn	0,5
» » »	unvollst. Farbenblindheit	1
» » »	vollständ. »	2

z. B. R. 0,5 oder *Gr.* 2 u. s. w.

---

1) Holmgrens Tafel der Verwechselungsfarben ist seinem Werke (*c*), dem von Joy Jeffries (*b* 2) und de Fontenay (*c*) beigefügt.

Anm. Da es, wie wir unten sehn werden, möglich ist, die Grenzen enger zu ziehen, so bediene ich mich einer zehnteiligen Skala:

(0,0)	0,1 0,2 0,3 0,4	0,5 0,6 0,7 0,8 0,9 1,0
normal	farbenschwach	farbenblind

(Näheres Kap. IV.)

Es entspricht also Holmgren's 0,5 etwa 0,15 bis 0,3; 1 etwa 0,35 bis 0,55 und 2 etwa 0,6 bis 1,0.

(№ 2.) *Farbige Pulver* (Cohn 1877, *d* pag. 9).

Eine das Wesen der Sache nicht weiter berührende Modifikation dieser Methode ist von Cohn dringend empfohlen worden, nämlich die Wahl von farbigen Pulvern in Fläschchen mit planparallelen Wänden. Ihr Vorzug soll in der Unveränderlichkeit gegen Licht und in der Möglichkeit bestehn: sie „überall in derselben Güte und von demselben Tone und derselben Nüance" zu bekommen, was meine Erfahrung nicht bestätigte, da die probeweise aus zwei Apotheken entnommenen Pulver durchaus nicht indentischer Nüance waren. — Die Wollbündel verbleichen und verstauben allerdings leicht, können aber ohne grosse Mühe wieder beschafft werden, und bieten dem Untersuchten keine starre (resp. glänzende) Fläche, wie die Glasfläschchen, was mir ein nicht geringer Vorzug zu sein scheint.

Die 17 von Cohn benutzten Pulver sind:

1) Purpurlack (Kreide, mit Purpur von Costarica-Rotholz gefärbt); 2) Kasseler Braun (fossiles Holz); 3) Krapprosa (Alizarin mit Tonerde); 4) Carmin (Cochenille); 5) Mennige; 6) Chromgelb (chroms. Bleioxyd); 7) Chromgrün (Chromoxyd); 8) Schweinfurter Grün (essigs. Kupferoxyd); 9) Bergblau (Kupferoxydhydrat mit kohlensaurem Kupferoxyd); 10) Kobaltblau (Kobaltoxyd mit Tonerde); 11) Indigoblau (gepulv. Indigo); 12) sogenanntes Ultramarin-Violet (Tonerde, Schwefelnatrium und Eisen); 13) 3 Arten Grau: *a*) hellgrau (100 weisse Schlemmkreide, 3 schwarz d. h. ebur ustum, 1 rot d. h. englischrot, 1 Ultramarinblau); *b*) mittelgrau (dasselbe auf 75 Kreide); *c*) dunkelgrau (dasselbe auf 50 Kreide); 14) Bleiweiss (kohlens. Bleioxyd mit Bleihydrat); 15) Pariser Schwarz (Knochenkohle).

Von jeder Farbe waren zwei Fläschchen in der Sammlung.

Hat man eine solche Sammlung sorgfältig hergestellt, so ist, besonders wenn man voraussichtlich jahrelang die Versuche fortsetzen will, der Nutzen der unveränderlichen Proben in der Tat so wichtig, dass ich es für geboten erachtete, die vom Erfinder angegebenen Pulver genau zu citiren[1]).

Da es mir wichtig erschien, die verwechselten Farben genau zu bestimmen, so habe ich jedes Wollbündelchen mit einem Papierstreifchen (5×7^{mm}) versehn, das eine, natürlich nicht nach Schattirung, fortlaufende Nummer trägt, die sowol bei der Vorprüfung als bei der Spezialuntersuchung sorgfältig notirt wurde.

B. Vergleichung von Gegenfarben.

Von der Voraussetzung ausgehend, dass der Farbenblinde stets die Gegenfarben gleich sehn müsse (?), haben verschiedene Forscher dieselben zur Ermittelung, resp. Bestimmung der Art der Farbenblindheit benutzt. Da aber die Meisten der Untersuchenden die Farben bloss nennen liessen, statt sie in bunten Wollen nachlegen zu lassen, so haben diese Methoden in der angegebenen Form blos die Bedeutung von Kontrollversuchen. Sorgfältig ausgeführt sind sie auch zu Massenuntersuchungen viel zu zeitraubend.

(№ 3.) *a) Vergleich des komplementärgefärbten polarisirten Lichtes* (Ed. Rose, *b*).

Die durch eine senkrecht zur Achse geschliffene Bergkrystallplatte gegangenen Lichtstrahlen werden durch zwei Nicol'sche Prismen in die Gegenfarben zerlegt. Eine Drehung des einen Nicols bewirkt die Regulirung der relativen Helligkeiten, während durch das Vorsetzen anderer Krystallplatten die Farbentöne geändert werden.

Sehr bequem ist E. Brücke's „Schistoskop“ (pag. 35) zu diesen Versuchen.

---

1) Wegen der Giftigkeit einiger dieser Farben ist Vorsicht nötig. Vergl. Cohn (*l*, pag. 3.)

Eine Untersuchung dauert 3 — 8 Minuten und länger, je nach der Anzahl Farbenpaare die man hervorbringen lässt. Leider sind die nach dieser Methode erhaltenen Nüancen schwer zu bestimmen[1]), da sie sich schlecht mit Spektralfarben oder gar Pigmentfarben vergleichen lassen, indem sie, wenigstens bei dem von mir benutzten Instrumente, zu „zart" erscheinen.

Diese Methode verdient jedenfalls Beachtung.

(№ 4.) *b*) *Farbige Schatten* (Stilling, 1875, *a*).

Lässt man durch ein farbiges Glas Sonnen- oder Lampenlicht auf einen weissen Schirm fallen, vor dem ein dünner Stab befestigt ist, so erscheint der Grund matt in der Farbe des Glases, und der Schatten komplementär. Noch schöner wird der Versuch, wenn man den Schirm gleichzeitig von der Seite mit schwächerem farblosem Lichte beleuchtet. Alsdann verschwindet die Farbe des Grundes fast vollständig, dagegen sind die beiden Schatten deutlich komplementär gefärbt. Am besten eignen sich hiezu rote, grüne und violete, weniger blaue und orange, am schlechtesten gelbe Gläser. Gutes purpurfarbiges Glas habe ich in genügend heller Schattirung nicht auftreiben können.

Diesen längst bekannten[2]) physikalischen Versuch hat zuerst Stilling zur Entdeckung der Farbenblindheit vorgeschlagen. Holmgren und Cohn haben besondere Apparate konstruirt, die alle Utensilien auf einem Fusse vereinigen. Zu Massenuntersuchungen dürfte sich Cohn's „Chromaskioptikon", seiner rotirenden buntfarbigen Glaslaterne wegen besser eignen, während der „Chromaskiameter" Holmgren's bei qualitativen Untersuchungen genauere Resultate giebt, da man hier die einzelnen Teile in eine messbare Entfernung einstellen kann. Eine Abbildung beider Instrumente befindet sich bei Cohn (*h*).

---

1) Eine Berechnung der Farbennüance aus der Dicke der Krystallplatte und dem Drehungswinkel des Nicols ist noch umständlicher und kaum genauer, da die Messung der Dicke nicht leicht ist und Hilfsinstrumente erfordert.

2) Die farbigen Schatten sind u. a. beschrieben von J. Müller 1838.

Eine Untersuchung nach dieser Methode dauert, besonders wenn man die nicht unterschiedenen Farben näher bezeichnen lässt, mindestens 5 Minuten. Diese Methode liefert nicht so mannigfaltige Farbenpaare als die Vorige, aber sie hat vor ihr den Vorzug der leichteren Handhabung des Instrumentes voraus.

Um die Kontrastfarben bequem in Wolle nachlegen lassen zu können, bediene ich mich *bei Tageslicht* folgender einfacher Vorrichtung. Der Untersuchte wird so an ein Fenster gesetzt, dass ihn das seitwärts einfallende diffuse Tageslicht nicht blendet. Vor ihm steht ein zusammenzuklappender Pappkasten (gegen 25cm. breit, 15cm. hoch und ebenso tief), der mit der offenen Seite zum Untersuchten gekehrt ist. Nach der Lichtseite hat der innen geschwärzte Kasten zwei Oeffnungen, deren eine durch einen Schieber verengert werden kann. Vor der anderen Oeffnung können in einer Falz bunte Gläser leicht eingeschoben werden. Der Schatten des passend aufgestellten Stabes fällt auf einen weissen Schirm, der unter einem Winkel von 45° zum Untersuchten gekehrt ist. Neben dem Kasten liegen die Wollen.

(№ 5.) *c) Spiegelreflexe nach Ragona Scina 1847* (Racc. fis. chim. II, p. 207).

Dieser einfache Versuch scheint zuerst von Cohn zur Bestimmung der Farbenblindheit benutzt worden zu sein. Zwei rechtwinklig zu einander geleimte Brettchen (von 10cm. Länge und Breite) die an der inneren Seite mit weissem Papier beklebt sind, auf welchem man je einen Ring aus schwarzem Sammt befestigt hat, und eine zwischen die beiden Brettchen gestellte farbige Glasplatte, welche den rechten Winkel halbirt, bilden den ganzen Apparat. Blickt man nun senkrecht zu einer der inneren Flächen auf das farbige Glas, so erscheint der durchscheinende Ring in der Farbe des Glases, der sich in der Vorderfläche des Glases spiegelnde komplementär. Zu diesem Experimente ist Tageslicht erforderlich. Eine Untersuchung dauert bei 4 Gläsern, wenn man die Farben in Wollen nachlegen lässt, 4—5 Minuten.

(№ 6.) *Kontrastfarben durch Florpapier* (Ad. Weber 1878. E. Pflüger 1880).

Legt man auf ein farbiges Papier einen schmalen Streifen, oder besser einen Ring aus grauem Papier, und bedeckt das Ganze mit einem oder mehreren Blatt Florpapier (Seidenpapier), so erscheint der Ring in der Gegenfarbe des Grundes.

Nach diesem Prinzip sind Farbenbüchlein hergestellt worden, welche schwarze und graue Buchstaben auf farbigem Grunde zeigen und mit mehreren Blatt Florpapier durchschossen sind. Benutzt habe ich nur die Farbentafeln von Prof. E. Pflüger in Bern.

Die Anwendung der Tafeln ist sehr einfach. Wer durch zwei resp. einen Flor die betreffenden Buchstaben nicht entziffern kann, ist entsprechend farbenblind.

Eine Untersuchung dauert (des vielen unbequemen Blätterns wegen) doch gegen 5 Minuten. Anfangs benutzte ich Pflüger's Tafeln zur Kontrolle, kam aber davon zurück, als ich erkannte, dass sie an Genauigkeit den Anforderungen nicht entsprachen, indem fast alle Farbenschwachen vom Grade $\leqq 0{,}3$ die Tafeln lasen. Die Schuld daran trägt wol, wie auch der Erfinder selbst hervorhebt, die technische Schwierigkeit des Druckes. Jedenfalls scheint der Grund bei den roten und der blauen Tafel zu dunkel zu sein, auch sind die grauen Buchstaben fleckig und haben Glanz. In zwei Fällen haben hochgradig Farbenblinde ($Fs = 0{,}8$) diese Tafeln ziemlich leicht bei zwei Floren entziffert.

Bei einer zweiten Auflage müssten Ziffern mehr berücksichtigt werden, da z. B. Russen und Esthen aus dem Bauernstande die lateinische Frakturschrift, in der diese Buchstaben gedruckt sind, nicht kennen, wodurch die Prüfung illusorisch oder doch sehr zeitraubend wird, wenn man etwa die Konturen bezeichnen lassen will.

(№ 7.) *e) Farbige Nachbilder* (Schirmer).

Legt man einen lebhaft gefärbten Gegenstand (am besten rosa oder grüne Wolle) auf eine weisse oder neutralgraue Unterlage, und fixirt ihn etwa 30 Sekunden lang, und zieht dann, ohne die Richtung

des Blickes zu ändern, den Gegenstand fort, so erscheint nach wenigen Augenblicken auf derselben Stelle ein Nachbild in der Gegenfarbe.

Die von Anderen angegebene Fixationszeit von 1 Minute ist, meiner Erfahrung nach, zu lang und ermüdet unnütz die Augen. Da das Nachlegen in bunten Wollen nicht ausführbar ist, indem das Nachbild bei der leisesten Bewegung der Augen bedeutend geschwächt wird, und da das blosse Nennenlassen der Farbe zu nichts führt, so muss man oft den Versuch wiederholen. Eine Untersuchung dauert, da man die Augen dazwischen ausruhn lassen muss, im günstigsten Falle 10 Minuten, und ist nur bei intelligenten Personen anwendbar.

Da diese Methode ausserdem die Augen stark angreift[1]), so ist sie zu Prüfungen des Farbensinnes nicht geeignet.

C. Zusammenstellung von Verwechselungsfarben.

Nachdem die Untersuchungen Farbenblinder systematisch angestellt worden, konnte es nicht unbemerkt bleiben, dass gewisse Farben häufiger verwechselt werden, als andere. Eine geistreiche Idee war es nun, die Stilling und später Andere hatten, als sie Tafeln zu konstruiren suchten, die in den charakteristischen Verwechselungsfarben gedruckt oder gestickt, ein bequemes Mittel an die Hand geben mussten, um leicht und schnell das Vorhandensein der Farbenblindheit zu konstatiren. Leider hat die Schwierigkeit der technischen Vervielfältigung die Anwendbarkeit dieser Tafeln sehr beeinträchtigt, doch *sind sie zu Kontrollversuchen* immerhin *vorzüglich und sehr zu empfehlen.*

---

1) Da die gebräuchlichen farbigen Löschblätter (besonders die rosa und grünen) sehr lebhafte und daher störende und das Auge angreifende Nachbilder erzeugen, so *sollte ihr Gebrauch in den Schulen nicht gestattet werden.* Empfehlenswert sind weisse oder graue; noch zulässig dunkelblaue und dunkelbraune, da hier die Nachbilder sehr schwach sind.

Ebenso schädlich ist das Tragen der blauen Schutzbrillen, da (wie ich es selbst versucht habe), die Augen nur empfindlich werden, und ausserdem der Farbensinn zeitweilig leidet. Auch schützt eine hell-rauchgraue Brille mehr als eine bedeutend dunklere blaue, ohne die Sehschärfe so stark herabzusetzen. Vergl. Dobrowolsky *(d)*.

(№ 8.) *a*) *Pseudoisochromatische Tafeln* (Stilling 1878 (*b* u. *e*)).

Nach Obigem ist die Anwendung dieser Tafeln (von denen ich ausser der ersten, fehlerhaften Auflage alle erschienenen benutzt habe) sehr einfach. Wer die aus kleinen Quadraten zusammengesetzten Buchstaben, Ziffern und Figuren nicht entziffern, resp. nicht in einer Zeile die gleichfarbigen Quadrate richtig bezeichnen kann, ist entsprechend farbenblind. Wie schon gesagt, sind die Tafeln nicht völlig sicher, da sie bisweilen von hochgradig Farbenblinden entziffert, ja in zwei Fällen richtig nach Quadraten bezeichnet wurden. Dieser Umstand lässt sich daraus erklären, dass nicht für alle Farbenblinde derselben Art, die Verwechselungsfarben dieselben sind. Darauf hat auch Stilling schon hingewiesen, doch stimmen seine Angaben nicht völlig mit meinen Beobachtungen überein. *Die* teilweise auch zur Entdeckung von Simulanten eingerichteten *Tafeln haben mir vorzügliche Dienste geleistet*, doch halte ich es für meine Pflicht, vor der dritten unveränderten Auflage der Tafeln zur Prüfung des Farbensinnes etc. 1880 zu warnen. Diese ist von der Verlagshandlung ohne Kontrolle des Erfinders[1]) mit allen Fehlern wieder abgedruckt worden und kann nur dazu dienen, die übrigen, sehr brauchbaren Tafeln in Miskredit zu bringen.

Ich kann nicht umhin, dem Herrn Dr. Stilling hier nochmals meinen Dank auszusprechen für die Liebenswürdigkeit, mit der er mir wiederholt seine Erfahrungen bei der Anwendung dieser Tafeln brieflich mitteilte, wodurch ich in den Stand gesetzt wurde, sie auf das Genaueste zu prüfen.

(№ 9.) *b*) *Gestickte Buchstaben* (Cohn 1878, *b* u. *d*, pag. 17).

Diese Tafeln sind nicht vervielfältigt worden. Cohn beschreibt sie folgendermassen: Auf Papierkanevas sind Buchstaben und Hintergrund in den häufigsten Verwechselungsfarben gestickt und nachher gut gepresst. Die 32 Täfelchen sind 4cm. im Quadrat, die Buchstaben 2cm. hoch. Die Verwechselungsfarben sind: hellblau in hell-

1) Nach einer brieflichen Mitteilung Januar 1881.

rosa (1—4), rosa in hellgrün (5—6), hellgrün in rosa (7—8), grün in rosa (13—16), grau in grün (17), grün in grau (18), gelb in rosa (19), rosa in gelb (20), rosa in hellblau (21—23), rotgrau in grün (24), purpur in dunklerem Blau (25—28), dasselbe Blau in purpur (29—32).

(№ 10.) *c*) *Stickwoll-Tafeln* (Daae 1877, *a* und *c*).

Die beiden erschienenen Ausgaben enthalten je 10 Zeilen zu 7 Farben, die in bunten Wollen auf grobmaschigen orange-gelben Papierkarten gestickt sind.

Die I. (mit norwegischem Text) ist u. A. von Cohn (*d*) beschrieben worden.

Die II. (mit deutschem Text) weicht nicht wenig von der Vorigen ab, indem sie statt 3 farbiger Zeilen deren blos zwei hat, nämlich 8 und 10, die mit 7 und 9 korrespondiren. Die anderen Zeilen sind teils verschoben, teils anders besetzt.

Prof. Daae hat die Freundlichkeit gehabt, mir beide Tafeln zu übersenden, wodurch es mir möglich wurde, beide Ausgaben zu prüfen. Hiemit sage ich ihm nochmals meinen Dank!

Diese Stickwolltafeln haben sich bei mir in allen Fällen bewährt, wo der Farbensinn deutlich herabgesetzt war. Um die störende Wirkung des farbigen Grundes aufzuheben, liess ich die Wollen auf grobmaschiges Zeug in glattliegenden Fäden so dicht an einander nähen, dass die einzelnen Zeilen und deren ($20^{mm} \times 25^{mm}$ grosse) Farbenfelder sich unmittelbar berührten. Darauf wurde das Zeug auf Pappe gespannt und gut gepresst. Ich wurde in meiner Erwartung nicht getäuscht. In mehreren Fällen, wo das Original richtig ausgesucht worden war, wurde bei dieser Tafel eine oder die andere Zeile für einfarbig erklärt, besonders die extra hinzugefügte 11-te (blau und blaugrün). Die Handhabung der Tafeln ist sehr einfach. Man lässt die Zeilen bezeichnen, die einfarbig erscheinen, resp. die gleichfarbigen Felder heraussuchen.

Eine Untersuchung dauert in diesem Falle 2—3 Minuten.

Bei einer neuen Auflage wären jedenfalls noch orange-purpur und orange-lila Zeilen hinzuzufügen.

2. Methoden zur qualitativen Bestimmung des Farbensinnes.

Zur näheren Charakterisirung der Art der Farbenblindheit können bei sorgfältiger Ausführung auch wol einzelne der eingeführten Methoden dienen, (besonders der „Lichtmesser" Ed. Rose's und Stilling's farbige Schatten) doch sind die meisten derselben in ihren Resultaten schwankend, auch ist es ziemlich umständlich, die Nüance der Verwechselungsfarben zu bestimmen, weshalb eine sichere Diagnose nicht leicht gestellt werden kann. *Jedenfalls empfiehlt es sich, obige Methoden zur Kontrolle anzuwenden, besonders wenn der Verdacht einer Simulation vorliegt.* Hiebei kann natürlich der Fall eintreten, dass der Simulant sich mit den gebräuchlichen Untersuchungsmethoden bekannt gemacht hat. In diesem eigentümlichen Kampfe zwischen dem Untersuchenden und dem Untersuchten wird natürlich derjenige Teil als Sieger hervorgehen, der das Wesen der Farbenblindheit und die Art und Weise, wie sich Farbenblinde bei der Untersuchung benehmen, besser kennt. Mit Recht weist übrigens Holmgren (*c*, pag. 62) wichtige Fälle routinirten Spezialisten zu, die nicht nur alle gebräuchlichen Methoden beherrschen, sondern auch im Stande sein müssen, erforderlichen Falles, neue zu extemporiren.

Allgemeine Regeln über die Art einer solchen Untersuchung zu geben, ist im Interesse der Sache gar nicht ratsam; ausserdem liegt die Sicherheit der Diagnose hauptsächlich in der Uebung und dem Scharfblicke des Prüfenden.

Die von Cohn und Anderen vorgeschlagene Kontrolle vermittelst farbiger, besonders roter (Rubin-)Gläser ist natürlich beachtenswert, doch nicht absolut sicher. Ausserdem empfiehlt derselbe Autor die Anwendung einer grossen Anzahl von Untersuchungsmethoden. Hiezu möchte ich noch als wichtigstes Hülfsmittel *die Wiederholung der gesammten Prüfung* nach einer oder mehreren Wochen *dringend*

empfehlen. Wie ich mich nämlich überzeugt habe, ist die Erinnerung für Farbennüancen nicht langdauernd. Die Versuche wurden in folgender Weise angestellt. Es wurde einer Anzahl von Personen eine genau notirte Nüance in Wolle zur näheren Betrachtung vorgelegt, und darauf der Betreffende ersucht, nach 1 Min., 10 Min., 1 Stunde, 24 Stunden und einer Woche dieselbe Nüance aus dem ganzen Wollvorrate, nach der Erinnerung, hervorzuholen. Bei den Meisten (60%) war die Erinnerung bereits nach 24 Stunden sehr unsicher. Nach einer Woche traf blos Einer (2%) die richtige Nüance, wiewol mehrere sich Notizen gemacht hatten.

Empfehlenswert ist es: die Verwechselungsfarben nach der Helligkeit ordnen zu lassen, die Reihenfolge in der oben angegebenen Weise genau zu notiren, und nach einigen Wochen die Prüfung zu wiederholen. Bei dieser Art der Untersuchung hat sicherlich der Prüfende mehr Chancen. Auf diese Weise habe ich vier Simulanten entlarvt.

(№ 11.) *a) Mischung der Farben mit dem Maxwell'schen Kreisel.*

Bekanntlich macht eine Mischfarbe genau denselben Eindruck auf das Auge, wie eine Uebergangsfarbe der Komponenten, gemischt mit neutralem Grau. Wenn das farbenblinde Auge nun die zusammengemischten Farben nicht als Farbe sieht, so muss ihm auch die Mischfarbe beider farblos erscheinen, und durch ein entsprechendes Grau ersetzt werden können. Das Verhältniss von schwarz und weiss in dem der Mischfarbe identisch erscheinenden Grau giebt uns nun eine Vorstellung von dem Eindruck, den diese Mischfarbe auf den Betreffenden macht.

Der Maxwell'sche Kreisel besteht im Wesentlichen aus einer Pappscheibe, die durch ein Uhrwerk oder durch eine Handkurbel in sehr schnelle Rotation gesetzt werden kann. Befestigt man vermittelst eines peripherischen, in Grade geteilten Blechringes zwei Kreisscheiben aus farbigem Papier, die einen radialen Ausschnitt haben, so dass man sie auf die verlängerte Achse und teilweise übereinander schieben kann (wodurch das Verhältniss beider Komponenten geändert

wird), und setzt darüber in derselben Weise zwei kleinere Kreisscheiben aus schwarzem und weissem Papier, die vermittelst einer Schraubenmutter an der Achse angezogen werden können, so entstehn bei gehörig schneller Rotation zwei Ringe, von denen der äussere in der Mischfarbe erscheint, der innere grau ist. Durch eine Verschiebung der Papiere kann man nun für ein farbenblindes Auge beide Ringe gleichfarbig machen und durch Ablesung der Grade eine sogenannte Farbengleichung finden.

Die einzige von mir nach dieser höchst umständlichen und unbequemen Methode[1]) gefundene Farbengleichung ergab nach 2 stündigem Experimentiren

219 *rot* + 141 *blau* = 80 *weiss* + 280 *schwarz*

welche Farbengleichung für völlig genau erklärt[2]) und *am folgenden Tage wieder gänzlich verworfen wurde. Diese Methode verdient kaum die Beachtung, die sie gefunden.*

(№ 12.) *b*) *Mischung von Spektralfarben* (Hirshberg. Helmholtz-Schöler 1878 [*a*, pag. 60]).[3])

Diese von Helmholtz erfundene und von Schöler zuerst zur Diagnose der Farbenblindheit benutzte Methode zur Mischung von Spektralfarben ist, da Spektroskope mit verschiebbaren Doppelspektren im Allgemeinen wol zu kostspielig sind[4]), vielleicht die vorzüglichste zur qualitativen Bestimmung; weshalb ich Schöler's Beschreibung des Versuches wörtlich wiedergebe.

„Vor dem Okularende des Spektroskopes, aus welchem das An-
„satzrohr mit der Linse zuvor entfernt worden ist, wird der Helm-
„holtz'sche Doppelspalt postirt und auf demselben das Licht einer

---

1) Um eine andere Mischfarbe beider Komponenten zu erhalten, muss der Apparat angehalten und wieder in Bewegung gesetzt werden.

2) Indem bei drei Versuchen dieselben Zahlen erhalten wurden.

3) Früher erschienen im Arch. f. Opht. XX, 2.

4) Spektroskope mit Doppelspektren sind von Hirschberg (Centrbl. f. Aug. 1878) empfohlen worden, doch kostet ein solches Instrument bei Dörfel (Berlin) 200 Mark.

„entfernten Petroleumflamme fokal vereinigt. Dadurch werden die „beiden Spalten zwei leuchtende Objekte, von denen die Strahlen auf „das Prisma fallen und farbig zerlegt werden. Schiebt man nun in „das bewegliche Kollimatorrohr eine Pappröhre (von 8 Zoll Länge) „mit einem stenopäischen Spalte am freien Ende ein, und postirt sich „mit dem Auge hinter denselben, so muss die Pappröhre soweit aus- „gezogen werden, bis das ganze Gesichtsfeld gleichmässig von einer „Farbe, je eines Spaltes, ausgefüllt ist. Letzteres tritt ein, wenn das „Bild der leuchtenden Spalten in der Ebene des Kollimatorspaltes „liegt. Durch eine Drehung an den Schrauben des Doppelspaltes „glückt es leicht, zwei einander komplementäre Farben einzustellen, „während man durch Verstellung des Kollimatorrohres successiv die „verschiedenen Farbenbilder des Spektrums Revue passiren lassen „kann. — (Durch das Vorsetzen einer Konvexlinse (+ 2) vor den „Kollimatorspalt kann man Sonnenlicht benutzen und durch Sicht- „barmachung der Fraunhofer'schen Linien den verwandten Farbenton „noch schärfer wissenschaftlich bestimmen.)"

(№ 13.) *c) Nachlegen des Spektrums in farbigen Wollen.* (Magnus (*c*)).

Der Untersuchte muss das ganze Spektrum in bunten Wollen, z. B. Holmgren's Wollproben, nachlegen. Wichtig ist hiebei, dass er (nach Cohn's Vorschlag) *alle* ihm ähnlich erscheinenden Wollbündel heraussucht.

(№ 14.) *d) Nachlegen der Metalllinien oder isolirter Teile des Spektrums* Cohn 1878 (*b*, pag. 264; *d*, pag. 19).

Diese Methode ist der vorigen völlig ähnlich. Sie gestattet eine sehr genaue Bestimmung des betreffenden Farbentones, doch ist die von Cohn benutzte Art des Abfragens, wie schon oben bemerkt worden, nicht zuverlässig und für andere Forscher unbrauchbar, da die Resultate nicht vergleichbar sind. Als erforderliche Metalle empfiehlt Cohn, ausser dem leicht zu beschaffenden Natrium (resp. Chlornatrium), noch Lithium (rot); Thallium (grün), am besten pulverisirt; und Indium (blau), das aber kostspielig und schwer in

genügender Reinheit zu beschaffen ist. ($^1/_2$ Gran Indium kostet bei Schering in Berlin 12 Mark.)

(№ 15.) *e) Vergleichung isolirter, identisch erscheinender Farbentöne des Spektrums.*

Am besten eignet sich hiezu natürlich ein Instrument mit Doppelspektrum, doch kann man sich in verschiedener Weise behelfen, u. a. nach der in № 12 beschriebenen Weise, oder indem man die betreffenden isolirten Farbentöne auf einem matten Glase oder einem Schirm aus weissem Seidenpapier auffängt, wie z. B. Raehlmann es tat.

Als Ergänzung zu allen Prüfungen am Spektroskop empfiehlt es sich, die hellste Stelle und die äussersten Grenzen des Spektrums angeben zu lassen, wo der Gesichtssinn des Patienten noch eine Ablesung der Skala gestattet.

Die Wichtigkeit der Verkürzung des Spektrums ist besonders von Stilling gewürdigt worden.[1])

3. Methoden zur quantitativen Bestimmung des Farbensinnes.

Im Wesentlichen bestehn alle quantitativen Bestimmungen des Farbensinnes in der Messung des minimalen Reizes[2]*), der gerade noch genügt, um eine gewisse Farbenempfindung loszulösen.*

---

1) Stilling benutzt diesen Umstand zur Diagnose der Art der Farbenblindheit, und unterscheidet mehrere Arten von Rot-grünblindheit. Die seinem interessanten letzten Werke beigefügten Tafeln sollen die Spektren so darstellen, wie sie den verschiedenen Farbenblinden erscheinen. In zwei Fällen wurden bei meinen Versuchen diese Tafeln von hochgradig Farbenblinden als «falsch» bezeichnet.

2) Die Bestimmung des maximalen Reizes (der oberen Reizschwelle) ist mit grossen Schwierigkeiten verknüpft, da wol nur wenige Augen der mit dieser Untersuchung verbundenen Anstrengung gewachsen sind. Dass die obere Reizschwelle, wie Dobrowolsky behauptet, weniger Schwankungen unterworfen ist, als die untere, scheint sehr wahrscheinlich. Leider sind diese Prüfungen, wegen der bald eintretenden Ermüdung des Auges, sehr zeitraubend, also bei einer grösseren Reihe von Beobachtungen, *für unseren Zweck*, völlig unbrauchbar.

Bei allen diesen Untersuchungen ist man vielen störenden Einflüssen ausgesetzt, wie dem Wechsel der Beleuchtungsintensität, der Aenderung des Akkomodations- und Adaptionszustandes des Auges u. a. m. Da ausserdem auch bei normalen Augen grosse individuelle Schwankungen vorkommen, so können wir uns nicht darüber wundern, dass bei diesen Untersuchungen noch so wenig Uebereinstimmung herrscht. *Bei jeder quantitativen Prüfung des Farbensinnes sollte daher*, wie Raehlmann u. A. es getan, *der Untersuchende stets gleichzeitig für sein oder ein anderes normalsichtiges Auge die Reizschwelle bestimmen*, wodurch wenigstens die Resultate einer Versuchsreihe einigermassen vergleichbar werden. *Auch ist es notwendig, mit dem Minimum der Reizstärke zu beginnen und durch Steigerung derselben die untere Reizschwelle zu bestimmen.*

Da wir es bei der Untersuchung Farbenblinder gewöhnlich mit ungeübten, und oft sogar (bei der Prüfung der Eisenbahnbediensteten und der Flottenmannschaft) mit ungebildeten Personen zu tun haben, so müssen wir hier zum Massstab bei der Beurteilung einer quantitativen Methode zur Bestimmung des Farbensinnes weniger die Unanfechtbarkeit des Prinzipes der betreffenden Methode, als deren praktische Brauchbarkeit nehmen. *Eine quantitative Methode ist gut, sobald sie leicht und rasch zu handhaben ist, und wenn die Fehler ihrer Resultate nachweisbar innerhalb gewisser, geforderter Grenzen liegen.*

A. Untersuchungen mit Spektralfarben.

Das Gemeinsame aller dieser Prüfungsmethoden ist, dass sie die minimale Intensität des betreffenden Farbentones messen, bei welchem die betreffende Farbe erkannt wird; sie unterscheiden sich nur in der Art der Intensitätsbestimmung.

1. Sehr bequem und daher vielfach benutzt ist die Regulirung und Messung der Lichtintensität durch Anwendung von polarisirtem Lichte[1]), indem wir dann blos zwei Nicol'sche Prismen in

1) Bei der Benutzung des polarisirten Lichtes geht man von der Annahme aus, dass das Auge sich zu polarisirtem Lichte ebenso verhalte, wie zu unpolarisirtem.

den Weg des untersuchten Lichtstrahles einzuschalten brauchen, um durch Drehung des einen Nicols von der Lichtstärke 1 (bei paralleler Stellung) bis zur Lichtstärke 0 (bei rechtwinklig gekreuzter[1]), alle Zwischenstufen der Helligkeit zu erzeugen, *und zwar ist die durchgehende Lichtmenge* (wenn wir das Lichtquantum bei Parallelstellung der Nicols = 1 setzen) — *je nachdem wir von der parallelen oder der gekreuzten Stellung der Prismen ausgehn — proportional dem Quadrate des cosinus oder dem des sinus des Drehungswinkels.* Die Hauptschwierigkeit besteht in der Bestimmung der als Einheit genommenen maximalen Lichtstärke. Die meisten Forscher haben diese Unbequemlichkeit umgangen, indem sie diese Messung einfach unterliessen. Wol der Einzige, welcher die maximale Intensität in genügend scharfer Weise zu bestimmen suchte, ist Dobrowolsky.

Um von der Jahres- und Tageszeit unabhängig zu sein, haben einige Forscher künstliches Licht zur Erzeugung des Spektrums benutzt. Hiebei treten aber zwei neue Fehlerquellen auf: die von der chemischen Zusammensetzung der brennenden Stoffe abhängige Verschiedenheit in der Intensität der einzelnen Farbentöne, und die Unmöglichkeit bei verschiedenen Versuchsreihen genau dieselbe Intensität zu erzeugen. Ausserdem ist es hier schwieriger die betreffenden Farbentöne genau zu bestimmen.

(№ 16.) *Die Methode von Lamansky* (Arch. für Opht. XVII, I pag. 125).

Als Polarisator benutzte Lamansky, auf einen Vorschlag von Helmholtz, einen Stoss planparalleler Glasplatten (welche jedoch nicht vollständig das durchgehende Licht polarisiren. d. Verf.). Die Glasplatten waren vor dem Spalte des Spektroskopes aufgestellt. Die isolirten Farbenfelder des Spektrums betrachtete Lamansky durch

1) Bei sehr hoher Lichtstärke reicht die polarisirende Kraft der Nicol'schen Prismen nicht mehr aus, und es wird dann auch bei der gekreuzten Stellung derselben Licht wahrgenommen.

ein doppeltbrechendes Prisma aus Kalkspath. Die entstehenden Doppelbilder hatten eine ungleiche Helligkeit, die er durch Drehung des Glasplattenstosses (um eine zum durchgehenden Lichtstrahle senkrechte Achse) reguliren konnte, bis die beiden Doppelbilder gleiche Intensität hatten.

Lamansky versuchte auch, die obere Reizschwelle zu bestimmen, indem er die Intensität steigerte, bis kein Zuwachs an Empfindlichkeit erzielt wurde, doch hat er dieses auf eine fehlerhafte Weise zu erreichen gesucht (wie schon Dobrowolsky (pag. 442) hervorhebt). Er liess nämlich die Sonnenstrahlen, bevor sie durch den Spalt giengen, auf eine mattgeschliffene Glasplatte fallen und glaubte die Vergrösserung der Lichtstärke durch eine Vergrösserung des Spaltes bewirken zu können, was falsch ist, da er so unreine Farbentöne erhalten musste.

Im Prinzip ist diese Methode nicht tadellos, denn zur Erzielung einer genügenden Polarisation ist eine ziemliche Anzahl Glasplatten nötig, die natürlich die relative Lichtstärke der einzelnen Farbentöne sehr bedeutend verändern können,[1]) doch ist sie für unseren Zweck völlig ausreichend.

(№ 17.) *Die Methode von* Dobrowolsky 1872 (*b* u. *c*).

Als Polarisator benutzte Dobrowolsky zwei parallelgestellte Nicol'sche Prismen, zwischen denen sich eine Gypsplatte (zur Erzeugung von Interferenzstreifen) befand. Das durchgehende Licht trat mithin polarisirt in das Spektroskop und wurde von einem dritten drehbaren Nicol analysirt. Um die maximale Intensität zu erhalten, konzentrirte Dobrowolsky das Sonnenlicht (bei konstanter Spaltbreite), bis keine Steigerung der Farbenempfindung erzielt werden konnte, und *setzte diese Menge Licht eines jeden Farbentones* = 1,

1) Der Umstand, dass der Glasstoss farblos (?) erscheint, ist noch kein Beweis dafür, dass er alle Lichtstrahlen gleichmässig durchlässt, denn es können sehr wol komplementäre Farbenpaare absorbirt worden sein.

und mass nun die Empfindlichkeit des Auges *für verschiedene Lichtintensitäten desselben Farbentones*, indem er gewisse Bruchteile der maximalen Intensitätsmenge durch Einstellung der Nicols erzielte.

Er konnte bei Konzentration des roten Spektrallichtes keine Vergrösserung der Empfindlichkeit erzielen, wol aber bei blau.[1]) Mit Berücksichtigung der zur grössten Empf. nötigen Maximalintensität beider Farben fand Dobrowolsky, abweichend von anderen Forschern, die Empfindlichkeit für blau grösser, als die für rot, bei gewöhnlicher Intensität dagegen kleiner.

Gegen diese Methode der Bestimmung des oberen und des unteren Reizschwellenwertes lässt sich nichts einwenden, doch *ist sie für unseren Zweck nicht brauchbar*, da wir andere Ziele verfolgen, indem wir nicht die Empfindlichkeit für Intensitätsstufen desselben Farbentones messen wollen, sondern die Empfindlichkeit für verschiedene Farbentöne überhaupt.

Für eine feine quantitative Untersuchung des (normalen), ganzen Farbensinnes ist diese Methode sehr wertvoll, doch erfordert sie, wie Dobrowolsky selbst hervorhebt, ein sehr starkes Auge, und ist ausserordentlich zeitraubend, indem eine Beobachtungsreihe nur dann brauchbar ist, wenn sie in einer Sitzung zu Ende geführt wurde.

(№ 18.) *Methode von* Raehlmann 1874 (*c* u. *d*).

Diese Methode stimmt im Wesentlichen mit der vorigen überein, nur benutzt Raehlmann als Polarisator einen Polarisationsspiegel, durch welchen das Licht (einer Petroleumflamme) in den Spalt reflektirt wird. Statt des Okulars sind zwei Nicol'sche Prismen eingesetzt. Bei der Bestimmung des Drehungswinkels geht Raehlmann von der leichter genau einzustellenden gekreuzten Stellung der Prismen aus *und beobachtet das richtige Prinzip: die ganze Un-*

---

1) Wie schon oben bemerkt, ist beim Prismenspektrum das weniger brechbare (rote) Ende verkürzt und das brechbarere (blau und violet) auseinandergereckt, daher relativ zu lichtschwach. (S. Helmholtz pag. 230).

tersuchung gleichzeitig auch für ein normales Auge anzustellen, sucht aber, wie viele Andere, die für verschiedene Farbentöne gefundenen Werte unter einander zu vergleichen. Dieses ist, besonders bei der künstlichen Beleuchtung, völlig unstatthaft, da — je nach der chemischen Zusammensetzung des Brennmateriales — die relative Intensität der einzelnen Farbentöne sehr verschieden ist. Da er nun die obere Grenze der Reizschwelle nicht gesucht hat, wir sonst in keiner Weise die Intensität verschiedener Farbentöne auf einander beziehn können, so folgt, dass Rachlmann bei seinen Resultaten *verschiedenartige Grössen mit einander verglichen hat.*

Zur praktischen Untersuchung des fehlerhaften Farbensinnes ist diese Methode jedenfalls brauchbar, wenn wir blos die Herabsetzung des Farbensinnes bestimmen wollen.

[Auf eine noch einfachere Weise können wir bei Spektralfarben die minimale Intensität messen, wenn wir vor dem zu untersuchenden, durch ein Diaphragma isolirten Teile des Spektrums eine gut geschwärzte Scheibe, die radiale Ausschnitte hat (Taf. I, Fig. 7), an einem Maxwell'schen Kreisel rotiren lassen. Das Verhältnis des ausgeschnittenen Teiles der schwarzen Scheibe zur ganzen Peripherie (beides in Graden ausgedrückt,) giebt unmittelbar den Grad der beobachteten Intensität. Setzen wir die ursprüngliche Intensität $=1$, die Anzahl Grade der Ausschnitte $= \alpha$, und die Intensität des beobachteten Lichtes $= x$, so ist,

$$\text{da } x:1 = \alpha^\circ : 360^\circ, \qquad x = \frac{\alpha^\circ}{360^\circ}.]$$

(№ 19.) *Messung der zur Farbenwahrnehmung erforderlichen Intensität der Spektralfarben durch Benutzung einer gleichzeitigen Sehprobe.* Macé und Nicati 1880 (*b, c, d*).

Zur Vermeidung der in violetem Lichte bei Anwendung von schwarzen Buchstaben auftretenden Fluoreszenz sind die 5^{mm} grossen Buchstaben aus einem Stück weissen Kartons (welcher Sorte ?) ausgeschnitten, und letzterer mit der betreffenden (durch ein Diaphragma aus einem 50cm. breiten Spektrum isolirten) Farbe beleuchtet, und

die Entfernung gemessen, in welcher das normale und das untersuchte Auge die Einzelheiten des Objektes scharf erkannte.[1])

Zum besseren Vergleich (?) ist die maximale Empfindlichkeit (gelb, $\lambda = 569$) $= 1000$ gesetzt. (Demnach ist E für rot ($\lambda = 613$) $= 253$, gelb, (567) $= 1000$, grün (520) $= 315$, blau (476) $= 5{,}5$ violet (442) $= 0{,}5$ beim normalen Auge.)

Diese Methode ist vom theoretischen Standpunkte sehr angreifbar, denn erstens wird hier die Fluoreszenz des benutzten weissen Kartons nicht berücksichtigt; zweitens ist hier weniger die Intensität der betreffenden Farbe, als die Helligkeitsdifferenz zwischen dem weissen Karton und den Lücken (Buchstaben) in demselben massgebend, wie der Gang der Empfindlichkeit für die verschiedenen Farbentöne beweist.

Für Sonnenlicht habe ich diese Methode nicht anwenden können, da die Witterung nicht günstig war, mithin wage ich kein entschiedenes Urteil auszusprechen. Für künstliches (Gas-) Licht erhielt ich das sonderbare Resultat, dass ein Rotgrünblinder, dessen Farbensinn für grün, verglichen mit dem meinen, (nach mehreren Methoden, darunter einer spektroskopischen), um $^7/_{10}$ herabgesetzt war, nach dieser Methode von Macé und Nicati *fast besser bei grünem Lichte die Buchstaben las als ich.*

Jedenfalls sind die Resultate dieser Methode bei Myopen nicht zuverlässig (s. u. № 23).

Nach dem Gesagten glaube ich nicht fehl zu gehn, wenn ich in dem Ergebnis der Untersuchung von Macé und Nicati (*d* pag. 2) — *dass der Rotblinde für die grüne Farbe eine grössere Empf.*

---

1) Pour mesurer la distribution de l'intensité lumineuse dans le spectre, c'est-à-dire pour étudier un phénomène d'ordre purement physiologique, il est nécessaire de prendre comme point de départ un fait physiologique bien défini et indépendant de la couleur. *Nous considérons deux quantités de lumière comme égales entre elles lorsque, éclairant un même object incolore, placé toujour à la même distance du même observateur, elles lui en font percevoir les détails avec la même netteté,* en d'autre terme, *lorsqu' elles ramènent l'acuité visuelle à la même valeur.* (Comptes rendus 31. mai 1880 pag. 1.)

besitze, als der Normalsichtige, und der Grünblinde für rot — noch keinen entscheidenden Beweis gegen die Hering'sche Theorie erblicke[1]).

Alle spektroskopischen Methoden zur quantitativen Bestimmung des Farbensinnes haben eine bedeutende Fehlerquelle in der Aenderung des Adaptionszustandes des Auges während der Untersuchung, wodurch die bei den einzelnen Beobachtungen gefundenen Werte verschiedenes Gewicht haben. Auch sind wir nicht im Stande die Grenze genau zu bestimmen, wo neben der Lichtempfindung die Farbenempfindung auftritt, denn sobald man, zum Vergleich, ein farbiges Objekt fixiren wollte, würde man sofort die Adaption des Auges herabsetzen, wodurch die Reizschwelle verschoben würde.

Wir werden im Folgenden sehn, dass die an grossen Mängeln leidenden Pigmentfarbenmethoden *in diesem Punkte* den Spektralmethoden überlegen sind.

Messung der minimalen Zeit, die zur Wahrnehmung einer Farbe genügt.

(№ 20.) Kunkel's *rotirende Scheiben.*

Kunkel visirte nach einer farbigen Fläche durch ein Fernrohr. Zwischen demselben und dem Objekte rotiren 2 Scheiben mit Ausschnitten in derselben Richtung. Die Rotationsgeschwindigkeit der näheren Scheiben ist 12 mal grösser, als die der anderen. Daher wird das Objekt in gewissen Intervallen auf Momente sichtbar.

(№ 21.) Vierordt's *Pendelapparat.*

Als Objekt dient eine von hinten mit Petroleumlicht erleuchtete Milchglasplatte, die durch ein im Okular befindliches farbiges Glas betrachtet wird, während der 2^{mm} breite und 60^{mm} lange Spalt des

---

1) Macé und Nicati sagen in Bezug auf ihre Resultate: «Ils battent en brèche la théorie de Hering.»

Pendelapparates vor dem Objekt vorübergeht, welches daher nur auf Momente sichtbar wird.

Nach dieser Methode haben Burkhart und Faber (Pflüger Arch. f. Oph. Bd. II. pag. 127) die minimale Zeit (0,029 bis 0,0144 Sek.) bestimmt.

Zur Untersuchung Farbenblinder scheinen diese beiden Apparate nicht benutzt worden zu sein.

Das Chromatometer.

Ohne Kenntnis von dem Vierordtschen Pendelapparate zu haben, konstruirte ich 1880 ein Chromatometer nach demselben Prinzipe.

Dieser Apparat besteht im Wesentlichen in einer gutgeschwärzten Metallscheibe, die durch eine in ihrer Spannung regulirbare Spiralfeder um 270° gedreht werden kann. Die Scheibe besteht aus zwei Kreissektoren, die über einander geschoben werden können, wodurch ein radialer Spalt entsteht, dessen Breite an einer Gradeinteilung abgelesen wird. Die Stellung der Sektoren wird durch eine Randschraube fixirt. — Gummipuffer hindern den Stoss der Scheibe beim Arretiren. Als Objekt dient eine stellbare radiale Spalte in einem schwarzen Schirm. Dieses Fenster kann durch farbiges Glas oder durch einen Rahmen, der mit Florpapier bekleidet ist, bedeckt werden. Das vor der Scheibe befindliche Visirrohr ist innen geschwärzt und steckt in einem genügend grossen schwarzen Schirm, der dem Untersuchten die Bewegung des Apparates verdeckt.

Bei einem intelligenten Farbenblinden erhielt ich brauchbare Resultate, indem die einzelnen Werte recht gut stimmten. Bei zwei Knaben dagegen waren die Zahlen so schwankend (z. B. für rot 20°, 15°, 35°, 10°, 40° also im Mittel 24° $\pm$ 3,3°), dass der wahrscheinliche Fehler weit über die verlangten Grenzen der Genauigkeit hinausging.

Die Bestimmung der minimalen Zeit ist, wegen der nötigen Konzentration der Aufmerksamkeit auf einen Moment, nur bei geübten Beobachtern möglich, daher *zur quantitativen Messung des Farbensinnes im Allgemeinen völlig unbrauchbar.*

Die von Camerer (Klin. Monatsbl. f. Aug. 1878 p. 51) benutzte *Vierordt'sche Spektralmethode*[1]) ist hier übergangen worden, da sie ihrem Wesen nach nicht zur Bestimmung des Farbensinnes benutzt werden kann, indem hier bei einem Farbenblinden die Helligkeitsdifferenzen allein massgebend sind, wie ein von mir angestellter Versuch beweist, indem ein notorisch Rot- und Grünblinder bei rot und grün einen geringeren Zusatz von weissem Lichte bemerkte als ein anderer normalsichtiger Knabe, den ich des auffallenden Resultates wegen — dass die Empfindung des Untersuchten der meines Auges fast gleich, ja für grün-blau überlegen sein sollte, zur Kontrolle herbeigezogen hatte. Das Resultat Camerer's, dass seine Farbenblindheit in *stetigem Verhältnis* von der Brechbarkeit des Lichtes abhängig sei, steht in direktem Widerspruch mit meinen Versuchen, die nach mehreren Methoden bei allen Untersuchten einen durchaus nicht regelmässigen Verlauf der Farbenschwäche ergaben.

B. Pigmentfarben.

Vom theoretischen Standpunkte aus sind alle Methoden, die sich der Pigmentfarben bei der Bestimmung des Farbensinnes bedienen, unzuverlässig, sobald es sich darum handelt, die Empfindlichkeit des Auges für verschiedene Farbentöne zu vergleichen, denn die Farbstoffe verändern mit der Zeit ihren Farbenton, der darum schwer zu bestimmen ist. Das von Pigmenten reflektirte Licht ist nicht monochromatisch und ausserdem mit weissem Lichte vermischt. Daher sind die Grenzen der Empfindlichkeit gegen Pigmentfarben je nach der Beleuchtung verschieden. *Man kann also kein konstantes, normales Mass des Reizwertes finden, nach welchem man den Farbensinn des Untersuchten beurteilen kann*, sondern *man muss stets die Beobachtung gleichzeitig für ein normales Auge anstellen und sich darauf beschränken, die Empfindlichkeit des Farbenschwachen in Bruchteilen der Empfindlichkeit dieses normalen Auges anzugeben.*

1) Vierordt, Anwendung des Spektralapparates zur Messung und Vergleichung der Stärke des farbigen Lichtes. Tübingen 1871.

(№ 22.) *Messung des minimalen Zusatzes einer Farbe zu schwarz (dunkel grau) und weiss, der noch erkannt wird.* Aubert 1867.

Vermittelst der Exner-Maxwell'schen Scheiben mass Aubert die minimale Breite eines radialen farbigen Streifens, der (vom normalen Auge) bei schneller Rotation des Auges als farbiger Ring wahrgenommen wird.

Nach dieser Methode hat Chodin, aus Petersburg, die Empfindlichkeit des normalen Auges für die peripherischen und die zentralen Teile der Netzhaut zu bestimmen gesucht, doch stimmen seine Resultate wenig mit denen anderer Forscher überein (Vergl. Dobrowolsky *d* pag. 189 Anm.), was sich leicht aus dem verschiedenen Sättigungsgrade der Pigmentfarben erklärt. Diese Methode ist sehr zeitraubend und schon daher für unseren Zweck nicht anwendbar.

(№ 23.) *Messung des minimalen Gesichtswinkels, unter welchem eine farbige Fläche in der richtigen Farbe erkannt wird.* Donders 1877. (Dor und Weber 1878.)

Einen Wendepunkt in der Untersuchung der Farbenblindheit bezeichnet die von Donders (*a*, *b*, *c*) eingeführte Messung des minimalen Gesichtswinkels, da diese Prüfung keine komplizirten Apparate verlangt und sehr rasch die gewünschten Resultate giebt. Dadurch wurde es möglich, die quantitative Untersuchung einer grossen Anzahl von Personen vorzunehmen, was in wissenschaftlicher Hinsicht von grösster Wichtigkeit ist.

Die Methode selbst ist sehr einfach. Auf einem mit schwarzem Sammt überzogenen Schirme von 1 Meter Seite werden kleine Quadrate aus Heidelberger Blumenpapier durch leichtes Andrücken befestigt, und die Entfernung bestimmt, in welcher die betreffende Farbe richtig erkannt wird. Statt des farbigen Papieres kann man farbiges Glas anwenden, das hinter einem Diaphragma von bestimmter Grösse befestigt ist und durch eine Lampe transparent erleuchtet wird.

Nennen wir D die Entfernung, in welcher das normale Auge, und d die Entfernung in welcher das untersuchte Auge ein Farben-

Quadrat vom Durchmesser m richtig unterscheidet, so ist das Farbenunterscheidungsvermögen (k) nach Donders:

$$k = \frac{1}{m^2} \frac{d^2}{D^2} \text{ also für } m = 1^{mm} \text{ ist } k = \left(\frac{d}{D}\right)^2$$

Diese Formel giebt für das normale Auge $k = 1$, für jedes andere $k < 1$.

Wird farbiges Glas benutzt und sind e und E die Entfernung für das normale und das untersuchte Auge so ist

$$K = \left(\frac{d.\,e}{m.\,D.\,E}\right)^2$$

Als Normalabstand nahm Donders $d = 5$ Meter, was aber nicht für alle Farben gilt, wie jede genauere Versuchsreihe zeigt.

Diese Methode hat den Fehler, dass ihre Resultate bei myopischen Augen nicht zuverlässig sind; auch greift sie die Augen an. Vom Einfluss der Myopie konnte ich mich durch die verschiedene Sehschärfe meiner Augen[1]) (S links normal, S rechts = —6,0 (Laudolt) verb. mit Astigm. +0,5 oben innen — unten aussen) direkt überzeugen, indem, trotz der Korrektion mit dem betr. Glase, der Farbensinn des rechten Auges, verglichen mit dem des linken, blos 0,65 betragen müsste, während nach anderen quantitativen Methoden die Empfindlichkeit beider Augen völlig gleich ist. Dass wirklich die Methode daran schuld ist, beweist der Umstand, dass die Differenz der für die beiden Augen erhaltenen Empfindlichkeit wächst, wenn die Entfernung des Objektes zunimmt.

Nach dieser Methode hat Cohn (f. pag. 11) eine Reihe von Versuchen mit geübten Beobachtern angestellt, und fand für Sonnenlicht im Durchschnitt, für $m = 1$ Meter, d für rot 14 Meter, gelb 9, grün 10, blau 6 Meter und bei Nubiern für rot 22, gelb 20, grün 19, blau 18 Meter. (f. pag. 12)

(№ 24.) Dor's *Tafeln* (d).

Unabhängig von einander haben Dor und Weber *für eine konstante Normalentfernung* ($d = 5, 10, 15, 20$ Meter) die Grösse

1) Die Bestimmung der Sehschärfe meiner Augen hatte Dr. Magawly auszuführen die Freundlichkeit.

des Durchmessers *m* von farbigen Kreisflächen zu bestimmen gesucht. Nach dem oben Gesagten ist einleuchtend, dass dieser Weg nicht zum Ziele führen kann.

Die Tafeln selbst enthalten farbige Kreise auf schwarzem Grunde, und zwar ist die Grösse der Kreise empirisch bestimmt worden. Wie Nikitin richtig bemerkt, sind die im Texte angegebenen Durchmesser der farbigen Kreisflächen bei der Tafel für 5 Meter zu gross. Die Differenz beträgt durchschnittlich $0{,}5^{mm}$.

Grossmann findet, was auch meine Untersuchungen bestätigen, dass die von Dor angenommene Normalentfernung nicht für alle Farben gilt. Auch beobachtet er den Wechsel des Farbentones einer Mischfarbe beim Näherkommen, den er daraus erklärt, dass die beiden Komponenten der Mischfarbe durch die Entfernung ungleichmässig an Kraft verlieren, wodurch natürlich beim Sichnähern die eine Komponente immer mehr hervortreten muss. Auch macht Grossmann auf den ‚störenden Umstand aufmerksam, dass man bei den Dor'schen Tafeln die Farben gleichzeitig sieht. (Um diese Fehlerquelle zu vermeiden, habe ich bei der Prüfung die Tafeln mit einem schwarzen Schirme bedeckt, dessen Oeffnung nur eine Farbe sichtbar werden lässt und es gestattet die Farbe zu wechseln, ohne dass der Untersuchte den Ort derselben auf der Tafel sieht, was sehr wichtig ist).

Die Benutzung der Tafeln bei künstl. Lichte giebt sehr schwankende Resultate[1]) *und ist daher zu verwerfen.*

Dor's Formel für die Empfindlichkeit (vision chromatique)

$$vc = \frac{d}{D}$$

ist zwar sehr bequem, giebt aber nicht so genau den wahren Wert der Empfindlichkeit, wie die Donder'sche $d^2 : D^2$. (s. Kap. IV).

(№ 25.) Weber's *Apparat* 1878.

Der Weber'sche Apparat hat den oben gerügten Fehler nicht,

1) D. h. die Beobachtungsreihen die man für eine verschiedene Entfernung der Lichtquelle erhält, stimmen schlecht, womit jede Vergleichbarkeit der Resultate illusorisch wird.

da hier die Farben, welche in einer bestimmten Entfernung erkannt werden sollen, sich in einer Reihe befinden und durch einen Schieber, dessen Loch nur eine Farbe gleichzeitig sichtbar werden lässt, verdeckt werden können. An dem Schieber ist die betreffende Entfernung angegeben.

Dass wir nach dieser Methode ebenso wenig eine Normalentfernung annehmen können, wie nach den Vorigen, ist selbstverständlich.

Mit Recht *weist Weber auf den störenden Einfluss der Beleuchtungsstärke hin und giebt eine vortreffliche Methode an*, dieselbe stets gleichmässig zu erhalten, *die ihrer Zweckmässigkeit wegen bei allen Untersuchungen mit Pigmentfarben dringend zu empfehlen ist.* Er sagt (pag. 131):

... „Es ist notwendig, dass das das Untersuchungszimmer er„leuchtende Fenster mit einem Vorfenster versehen sei.... Um eine „Gleichmässigkeit der Beleuchtungsstärke herzustellen, bediene ich „mich schwarzer Rouleaux. Für gewöhnlich wähle ich — und hier„für sind auch meine Tafeln berechnet — einen Beleuchtungsgrad, „der $^2/_3$ höher ist, als das Minimum, bei dem eben noch die $S = 1$. „Diesen stellt man auf die Weise her, dass der Untersucher sich mit „Smokgläsern 5 bewaffnet, die das Unterscheidungsvermögen um $^2/_3$ „herabsetzen[1]), und nun durch die Rouleaux soweit abdüstere, dass „gerade noch die für die betreffende Distanz gültigen (Snellen'schen) „Probebuchstaben gelesen werden können, und bei längerem Fixiren „kein Zuwachs an Unterscheidungsvermögen eintritt."

Mit einem anderen Vorschlage Weber's: die ganze Wand, an der die Tafeln hängen, mit schwarzem Tuche auszuschlagen, kann ich mich nicht einverstanden erklären, da ich eine neutralgraue Wand für den besten Hintergrund halte. Wie wir oben gesehn haben, ist die geringste Adaptionsänderung des Auges von

1) Dasselbe erhält man noch genauer, wenn man statt des Rauchglases eine gutgeschwärzte Maxwell'sche Scheibe benutzt, deren Sektoren $= {}^1{}_3$ der Fläche sind (s. Taf. I, Fig. 7). Bei der Rotation am Maxwellschen Kreise liefert diese Scheibe genau eine Verdunkelung von ${}^2{}_3$.

Schwankungen der Empfindlichkeit begleitet. Beim Fixiren eines kleinen farbigen Gegenstandes auf einer grossen schwarzen Fläche muss eine Adaption des Auges eintreten, die wegen des anwesenden diffusen Tageslichtes zwar unvollständig, aber doch bedeutend genug ist, um Schwankungen in den Reizschwellenwerten zu bedingen. Haben nun der Untersuchende und der Untersuchte einen ungleichen Adaptionszustand der Augen, so sind die betreffenden Reizschwellenwerte nicht mit einander vergleichbar, was aber durchaus nötig ist. *Bei nicht adaptirtem Auge sind die Reizschwellenwerte zwar grösser, aber weit konstanter als beim adaptirten Auge. Dieses ist gerade ein Vortheil der Pigmentfarbenmethoden, den man nicht aus den Augen lassen darf.*

Da im Allgemeinen die Sehschärfe der Farbenblinden normal ist, so sind die Methoden zur Bestimmung des minimalen Gesichtswinkels, ihrer einfachen Handhabung wegen, überall zu empfehlen, wo die Genauigkeit von $^1/_{10}$ des normalen Farbensinnes genügt.

Messung des minimalen Sättigungsgrades, der zur Erkennung einer Farbe genügt. B. Kolbe.

Da die Methoden der Bestimmung des minimalen Gesichtswinkels unsicher werden, sobald die Sehschärfe herabgesetzt ist, so habe ich die Steigerung des farbigen Eindruckes in der Weise hervorzurufen versucht, dass ich in einer Mischung der betreffenden Farbe mit neutralem Grau, den Zusatz der reinen Farbe vermehrte und dementsprechend den Beitrag des neutralen Grau verminderte. Auf diese Weise konnte ich hoffen, den störenden Einfluss der Helligkeitsdifferenz auf das Minimum reduzirt zu haben.

Um einem möglichen Einwande zu begegnen, will ich hier den Beweis zu führen suchen, dass die absolute Sättigung der benutzten Farbe nicht notwendig ist. Es sei der für das normale Auge zur Wahrnehmung der Farbe nötige Sättigungsgrad bezogen auf die angewandte Farbe $= r$ und der des farbenschwachen $= R$; so ist in Bezug auf die unbekannte absolute Sättigung dieser Farbe (J), wenn

$R = m.\ r$ ist, $r = x.\ J$ und $R = m\ x.\ J$, wo x einen unbekannten Faktor bedeutet.

Da wir es blos mit dem relativen Werte der Empfindlichkeit (die dem Reizschwellenwerte umgekehrt proportional ist) zu tun haben, so ist $E = \frac{r}{R} = \frac{x.\ J}{m.\ x.\ J} = \frac{1}{m}$, wo also die absolute Sättigung eliminirt ist.

(№ 26.) *Der Farbenmesser* (Kolbe 1881).

Um die Sättigungsgrade numerisch bestimmen zu können, konstruirte ich einen Apparat, der es gestattet, das relative Verhältnis der reinen Farbe zum neutralen Grau beliebig zu ändern, ohne die farbige Fläche wechseln zu müssen, und ohne dass der Untersuchte näher zum Apparat heranzutreten braucht. S. *Taf. I Fig. 5.*

Auf dem horizontalen Brette A befinden sich zwei vertikale Kegelstumpfe K_1 und K_2 welche durch das Schwungrad B in schnelle Rotation versetzt werden können. Die Höhe der gut rotirenden Kegelstumpfe ist 200 ^{mm}, der obere Durchmesser 60 ^{mm} und der untere 66 ^{mm}. Auf die Kegelstumpfe werden Mäntel aus Bristolpapier gestülpt, das in folgender Weise gefärbt ist:

a) zur Herstellung der Sättigungsstufen (s. Taf. I, Fig. 6a).

Der aufgerollte Kegelmantel wird an seiner oberen und unteren Peripherie in eine gleiche Anzahl Teile (z. B. 4) geteilt, und die Teilpunkte zickzackförmig durch gerade Linien verbunden. Die mit der Basis nach oben gerichteten Dreiecke werden entweder nach der Günzburg'schen Methode mit Hülfe einer Schablone (aus starkem Papier) und stellbarer Pinsel[1]) wiederholt mit Oelfarbe z. B. rot eingerieben, (bis die Fläche gleichmässig und gesättigt erscheint) oder mit Heidelberger Blumenpapier beklebt. Das erste Verfahren ist vorzuziehn, da die erhaltenen Flächen matt und sehr haltbar sind, auch die Farbe nach Bedarf nachträglich aufgetragen werden kann. Die gegenstehenden Dreiecke macht man abwechselnd schwarz und

1) Anstatt der Pinsel kann man im Notfalle einen wallnussgrossen Ballen Watte benutzen. Dazwischen muss die Fläche völlig trocken geworden sein.

weiss. Bei der Rotation ist der untere Rand rein neutralgrau und der obere rein in der gerade benutzten Farbe. Proportional der Entfernung vom grauen Rande steigt der Zusatz der reinen Farbe; mithin haben wir alle möglichen Sättigungsstufen des betreffenden Farbentones gleichzeitig. Teilen wir die Höhe der Kegelstumpfe in 100 gleiche Teile, so giebt uns jeder Skalengrad zugleich die % der reinen Farbe in der Mischung mit neutralem Grau. Setzen wir die maximale Sättigung = 1, so können wir die Sättigungsgrade nach Belieben in Zehnteln oder in Hundersteln angeben, ohne dass das Resultat an Vergleichbarkeit verliert.

Bei der Untersuchung befindet sich vor den beiden Kegelstumpfen ein schwarzer Schirm (in 5 mm Abstand) welcher parallel zur Achse derselben je einen 15 mm breiten und 200 mm langen, mit einem schwarzen Schieber von oben her verschliessbaren Spalt trägt. Zu beiden Seiten des Spaltes sind Skalen angebracht, von denen die eine die Sättigungsgrade, die andere (bei entsprechenden Kegelmänteln, s. w. u.) die Schattirungsgrade angiebt.

Der Untersuchte sitzt in 1 Meter Entfernung von dem in Augenhöhe aufgestellten Apparate. Erst bei gehörig schneller Rotation (10—15 Mal in der Sekunde) *wird der eine Schieber geöffnet und der Untersuchte aufgefordert die betreffende Farbe in bunten Wollen nachzulegen. Der Sättigungsgrad, bei welchem er wiederholt die richtige Farbe erkennt, wird notirt.* Bei dieser Prüfung dient der zweite Kegelstumpf blos dazu, die Untersuchung zu beschleunigen, indem der Apparat seltener angehalten zu werden braucht, um die farbigen Mäntel zu wechseln.

Anm. Es empfiehlt sich, die Kegelmäntel oben mit einem schwarzen Rande zu versehn, welcher die Kegelstumpfe um 10 mm überragt, damit man beim Abheben der Mäntel die farbigen Flächen nicht mit der Hand zu berühren braucht, was man vermeiden muss, da Flecken bei der Rotation sehr störende Streifen geben.

Die Empfindlichkeit ist dem gefundenen Reizschwellenwerte, d. h. dem Sättigungsgrade, umgekehrt proportional. Hat man z. B. für

das normale Auge $r = 0{,}07$ und für das untersuchte $r' = 0{,}55$, so ist die Empfindung für diesen Farbenton $E = \frac{r}{r'}$ und die entsprechende Farbenschwäche (s. Kap. IV) $Fs = 1 - \frac{r}{r'} = \frac{r-r'}{r'}$ $= \frac{55-7}{55} = 0{,}87$.

b) Mischung der Farben. (Taf. I, Fig. 3).

Da man bei Pigmentfarben an die vorhandenen Farbentöne gebunden ist (was sich bei den vorhergehenden Methoden sehr fühlbar macht), so ist es oft notwendig, einen verlangten Farbenton durch Mischung herzustellen, indem man hiezu die nächstliegenden beiden Komponenten benutzt. Ein Beispiel wird dieses erläutern. Es sei vorrätig grün 170° und blau 240° und es werde verlangt blaugrün c. 215°.

Zu diesem Zweck werden die Dreiecke der einen Seite entsprechend blau gefärbt (oder, wenn Heidelb. Blumenpap. geg. ist, beklebt) und die Gegendreiecke grün. Bei der Rotation erhalten wir somit alle möglichen Uebergänge der beiden Farben gleichzeitig (und können, was sehr wichtig ist, die neutrale Grenze bestimmen, die bei Gegenfarben der Theorie entsprechend grau ist). Haben wir etwa gefunden, dass der verlangte Farbenton $\lambda = 215°$ dem, an der Skala unmittelbar ablesbaren, Verhältnis von 33% blau und 67% grün entspricht, so brauchen wir blos bei den zur Darstellung der Sättigungsgrade benutzten Mänteln die oberen Dreiecke (annähernd) $^1/_3$ blau und $^2/_3$ grün zu färben (wie Taf. I, Fig 6 *c* für Schattirungen zeigt) so erhalten wir bei der Rotation alle Sättigungsstufen des verlangten Blaugrün, wenn wir die unteren Dreiecke abwechselnd schwarz und weiss machen.

Sind alle oberen Dreiecke weiss und alle unteren schwarz, so erhalten wir alle Stufen des reinen Grau, und zwar wollen wir das neutrale Grau mit 0,0 und die helleren Abstufungen mit + (weiss = + 1,0) und die dunkleren mit — (schwarz = — 1,0) bezeichnen, um mit der zur geometrischen Darstellung benutzten Runge'schen Farbenkugel in Einklang zu bleiben.

Bei einer Versuchsreihe erhielt ich:

	bei rot	orange	gelb	grün	blau	violet
normal r =	0,05	0,08	0,07	00,7	0,08	0,07
farbenschw. r' =	0,35	0,09	0,08	0,30	0,10	0,10
$E = \frac{r}{r'}$ =	0,14	0,89	0,85	0,23	0,80	0,70
$Fs = \frac{r'-r}{r'}$ =	0,86	0,11	0,15	0,77	0,20	0,30

Eine vergleichende Versuchsreihe für Dor's Tafeln und den Farbenmesser befindet sich im folgenden Kapitel.

(№ 27.) *Farben-Sättigungs-Tafel.* B. Kolbe 1880[1]).

Da es oft bei Massenuntersuchungen unmöglich ist, eine Spezialuntersuchung mit allen Farbenschwachen vorzunehmen, so habe ich, um eine numerische *Abschätzung* der Farbenschwäche zu ermöglichen, Tafeln herzustellen versucht, in denen die Uebergänge von neutralem Grau in rot, orange, gelb, grün, blau, violet, purpur, weiss und schwarz möglichst gleichmässig sind. Die Anwendung derselben ist dem des Farbenmessers genau entsprechend.

Die einzelnen Farbenstreifen sind absichtlich nicht nach dem Spektrum geordnet. Ihre Breite beträgt 15^{mm}, die Länge 200^{mm}. Für die Untersuchung ist die Tafel auf starken Karton gespannt und bewegt sich leicht in der Falz eines schwarzen Futterals, ohne mit der farbigen Fläche die Innenseite des letzteren zu berühren. Auf der Vorderseite des Futterals befindet sich ein Spalt von 15^{mm} Höhe und der Breite des farbigen Teiles der Tafel. Dieser Spalt wird durch kleine Schieber, die genau der Breite eines Farbenstreifens entsprechen, bis auf eine Lücke verdeckt. Durch diese Lücken wird die betreffende Farbe sichtbar, und zwar beim Herausziehn der Tafel vom Sättigungsgrade 0,0 bis 1,0. Durch eine Verschiebung der Schieber nach rechts oder links kann man jeden Farbenstreifen sichtbar werden lassen. Ein seitliches Diaphragma lässt gleichzeitig

1) Im Druck erschienen 1881. (Petersburg, Oskar Krantz.)

den betreffenden Sättigungsgrad ablesen. Da die Entfernung des Untersuchten von den Tafeln blos 1 Meter beträgt, und das farbige Feld 15^{mm} im Quadrat enthält, so ist diese Methode — da man ja auch im Notfalle die Tafeln näher bringen kann, ohne wesentlich der Genauigkeit des Resultates zu schaden — weit weniger dem störenden Einfluss der Myopie ausgesetzt, als die Messung des minimalen Gesichtswinkels.

Anm. Diese Farben-Sättigungstafel soll nicht eine quantitative Prüfung ersetzen, sondern blos ein Hilfsmittel bieten, um bei Massenuntersuchungen rasch, mit annähernder Genauigkeit, den Grad der vorliegenden Farbenschwäche zu bestimmen.

IV. Kapitel.

Geometrische Darstellung der Farbenblindheit.

Um eine Vergleichbarkeit der Resultate zu erzielen, müssen wir im Folgenden ganz von der Theorie absehn, und uns nur bemühn, die Resultate möglichst klar zur Anschauung zu bringen, ohne aus denselben etwas herauslesen oder vielmehr hineinlesen zu wollen, als was sich aus den betreffenden Untersuchungen von selbst ergiebt.

Zu diesem Zwecke wollen wir:

I. *Eine bequeme Skala der Farbenschwäche aufstellen, und bei einer Massenuntersuchung für jeden einzelnen Grad derselben den Prozentsatz der Farbenschwachen bestimmen*, um uns auf diese Weise frei zu machen von der bisher ziemlich schwankenden Definition der Farbenblindheit, d. h. des Grades der Farbenschwäche, der als Farbenblindheit bezeichnet werden kann. (Statistik der Farbenblindheit, Taf. III, Fig. 1).

II. *Wollen wir die charakteristischen Verwechselungsfarben in räumlichen Polarkoordinaten* (φ, r, σ, s. u. pag. 75) *angeben und*

die Lage und Ausdehnung derselben auf dem Farbenkreise verfolgen. (Qualitative Bestimmung der Farbenblindheit; Taf. III, Fig. 2).

III. *Wollen wir* durch Messung der minimalen Reizschwelle *die Farbenschwäche für verschiedene Farbentöne bestimmen*, und unserer Skala entsprechend derart auf dem Farbenkreise auftragen, dass die jedem Farbentone entsprechende Farbenschwäche auf dem betreffenden Radius (vom Mittelpunkte aus) zu liegen kommt. *Die* durch die Endpunkte gehende *Kurve der Farbenschwäche giebt uns eine geometrische Darstellung der Farbenblindheit* (welche wir noch vervollständigen können, indem wir die Kurve für verschiedene Meridianebenen der Runge'schen Farbenkugel verfolgen. Bei einer genügenden Anzahl von Beobachtungen liefert uns dann die durch alle Endpunkte gehende Fläche ein vollständiges geometrisches Bild der vorliegenden Farbenschwäche). Taf. II, Fig. 2.

Skala der Farbenschwäche.

Da es wünschenswert ist, die Resultate der quantitativen Messungen möglichst *unabhängig von den angewandten Methoden* darzustellen, um die nach verschiedenen Methoden gewonnenen Zahlen vergleichen zu können, so ist in Folgendem die Untersuchung stets gleichzeitig, also unter möglichst gleichen Bedingungen, für das normale Auge angestellt worden (wie solches bereits Raehlmann u. A. getan) und abweichend von der bisherigen Bezeichnungsweise nicht das Verhältnis der betreffenden Empfindlichkeiten, sondern deren Differenz zum Mass genommen für den Grad der Farbenschwäche.

Bezeichnen wir mit E die Empfindlichkeit des normalen und mit E' die des untersuchten Auges, so ist die Herabsetzung des Farbensinnes $= E - E'$ oder, wenn wir diese Differenz messen durch die Empf. des norm. Auges, so erhalten wir als gewünschten Ausdruck für die Farbenschwäche (Fs)

$$Fs = 1 - \frac{E'}{E} = \frac{E - E'}{E}$$

Oder, da die Empfindlichkeit dem Reizschwellenwert (R) umgekehrt proportional ist

$$Fs = \frac{\frac{1}{R} - \frac{1}{R'}}{\frac{1}{R}} = \frac{R'-R}{R'}$$

Dieser Wert, in Dezimalbrüchen ausgedrückt und auf Zehntel verkürzt, giebt uns den gewünschten Grad der Farbenschwäche, oder in Worten:

«*Wir verstehen unter Farbenschwäche die Herabsetzung des Farbensinnes, ausgedrückt in Zehnteln* (resp. Hundertsteln) *des normalen Farbensinnes.*»

Auf diese Weise erhalten wir die zehnstufige Skala:

(0,0)	0,1 0,2 0,3 0,4	0,5 0,6 0,7 0,8 0,9 1,0
normal	farbenschwach	farbenblind

Anm. Hiebei können wir (durch Bestimmung der folgenden Dezimalstellen) die Genauigkeit beliebig weit treiben, ohne dass das Resultat an Uebersichtlichkeit verliert.

Als untere Grenze der Farbenblindheit (FB.) wollen wir nun den Grad der Farbenschwäche verstehen, bei welchem die Empfindlichkeit auf die Hälfte herabgesetzt ist, also Fs = 0,5.

Nach meinen Beobachtungen beginnen auch für $Fs = 0{,}5$ für weniger gesättigte Farben ($r \lessapprox 0{,}4$) die charakteristischen Verwechselungen mit Grau oder mit den Gegenfarben. Letzterer Fall tritt übrigens weit seltener auf, selbst bei hochgradig Farbenblinden.

1. Statistik der Farbenblindheit.

Um eine recht sichere Diagnose zu ermöglichen, wurden bei der Vorprüfung mehrere Methoden zur Kontrolle angewandt, und die Verwechselungsfarben in der oben (pag. 35) angegebenen Weise genau notirt.

Bei der Vorprüfung wurden benutzt: Holmgren's Wollproben und die Tafeln von Stilling und Daae (anfangs auch Pflüger) und die eigene Farbensättigungstafel. Bei der Wollprobe wurde sowol die grüne (I) als auch die purpurne Wolle (II^a) ausgesucht, eventuell auch die rote (II^b).

Die Verwechselungsfarben wurden genau notirt. (s. o. pag. 35.)

Bei der Spezialuntersuchung wurde die ganze Prüfung wiederholt, und ausserdem die farbigen Schatten, Dor's Tafeln und Spektralmethoden, sowie bei den letzten 36 Farbenschwachen mein Farbenmesser u. a. m. benutzt.

Selbstverständlich fand die Prüfung in den Vormittagsstunden statt.

(Unter $Fs \lessgtr n$ fassen wir alle Farbenschwachen zusammen, deren Farbenschwäche mindestens $= n$ ist.) $Fs = 0{,}1$ liegt noch innerhalb der Schwankungen des normalen Farbensinnes.

A I. Knaben.	Anz. d. U.	Farbenschwach				Farbenblind						Farbenbl.
	$Fs \lessgtr$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	$\lessgtr 0{,}5$
St. Annensch.	493	73 14,81%	36 7,10%	31 6,29%	19 3,26%	11 2,23%	5 1,01%	3 0,60%	3 0,60%	2 0,30%	0 0,00%	11
St. Petrischule	546	91 16,66%	35 6,41%	29 5,31%	22 4,01%	15 2,75%	9 1,61%	5 0,91%	4 0,79%	4 0,37%	1 0,19%	15
Reformirte S.	352	42 11,93%	13 4,00%	7 2,00%	7 2,00%	7 2,00%	5 1,42%	4 1,11%	2 0,55%	2 0,55%	1 0,27%	7
St. Catharinensch.	176	33 18,75%	17 9,67%	12 6,80%	8 4,55%	4 2,26%	2 1,13%	2 1,13%	1 0,56%	1 0,56%	1 0,56%	4
Summe	1567	239 15,31%	101 6,45%	79 5,04%	66 4,21%	37 2,36%	21 1,34%	14 0,89%	11 0,70%	9 0,58%	3 0,19%	37 2,36%

in Bezug auf die Farbenschwachen ($Fs \lessgtr 0{,}2$) } 36,53%

II Mädchen		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	FB
St. Annensch.	287	21 7,32%	9 3,13%	5 1,75%	1 0,35%	0 0,00	0	—	—	—	—	0
St. Petrischule	329	19 5,75%	5 1,52%	2 0,61%	1 0,30%	1 0,31	0	—	—	—	—	1
Pension. Ertmann	77	9 11,40%	5 1,33%	3 3,92%	1 1,31%	0 0,00	0	—	—	—	—	0
Summe	695	49 7,02%	19 2,73%	10 1,44%	3 0,43%	1 0,14	—	—	—	—	—	1 0,14%

in Bezug auf die Farbenschwachen 5,26%

Unter den 101 farbenschwachen Knaben ($Fs \gtrless 0{,}2$) befanden sich blos 2 blau-gelbschwache und von den 37 farbenblinden war nur einer blaugelbblind, die Uebrigen rot-grünblind. Von den 19 farbenschwachen *Mädchen* war eines blaugelbschwach ($Fs = 0{,}4$) und zwar konnte hier *keine Herabsetzung des Rot-grünsinnes* konstatirt werden. (S. u. pag. 74 Tabelle E № 6).

Der einzige Fall von Farbenblindheit bei Mädchen ($Fs\ (r—gr) = 0{,}5$) ist besonders dadurch interessant, dass der Zwillingsbruder des jungen Mädchens einen normalen Farbensinn besitzt. (Ich habe ihn zwei Mal geprüft.)

Die Bezeichnung Rot-grünblindheit habe ich adoptirt, weil sich bei meinen Untersuchungen bisher *ausnahmslos eine gleichzeitige Herabsetzung des Rot- und des Grünsinnes zeigte*, wenngleich *in den meisten Fällen von einem ungleichen Grade*. Um diese Bezeichnungsweise in aller Strenge anwenden zu können, *habe ich* in solchen Fällen *die geringere Farbenschwäche als Mass genommen*. Im Durchschnitt differirte der Grad der Farbenschwäche für die Gegenfarben um einen Skalengrad.

Leber's Klassifikation der Farbenblindheit nach den Farbentönen, welche dem Untersuchten weiss erscheinen, ist mangelhaft, da sie nur auf vollständig Rot-grün- resp. Blaugelbblinde ($Fs \gtrless 0{,}9$) anwendbar ist, indem bei geringeren Graden der Farbenschwäche kein Farbenton farblos erscheint[1]). *Die einzig richtige Bezeichnung der Farbenblindheit ist die nach den Farbentönen, für welche die Farbenschwäche ein Maximum ist.* Eine quantitative Prüfung des gesammten Farbensinnes ist mithin zu einer sicheren Diagnose durchaus notwendig.

Für die Zuverlässigkeit vorliegender statistischer Untersuchung glaube ich einigermassen einstehen zu können, da ich bereits vorher mehrere Hundert geprüft hatte.

---

1) Es ist mir im Laufe der Untersuchung überhaupt zweifelhaft geworden, ob selbst ein vollständig Rot-grünblinder irgend welche Farbentöne farblos sehn *müsse*, da Ausnahmen vorzukommen scheinen.

Es ist vielleicht nicht unwichtig, hier auf eine von mir gemachte Erfahrung hinzuweisen. Bei den ersten Untersuchungen erhielt ich einen auffallend hohen Prozentsatz[1]) Farbenblinder, der sich bei der einige Monate später wiederholten Prüfung Mehrerer, für diese nicht unwesentlich verringerte. Ueberhaupt lernte ich erst dann die Methoden verstehn und beherrschen, als mir ein vollständig Rot-grünblinder, Herr Sokolowsky, mit der grössten Liebenswürdigkeit wochenlang *wiederholte Prüfungen gestattete*, und mich auf die ihm *nicht ähnlich* erscheinenden Farbentöne aufmerksam machte. Hiemit sage ich ihm nochmals meinen Dank! — Auch ist es sehr wichtig mit Farbenblinden zu operiren, die an physikalische Untersuchungen gewöhnt sind; so habe ich bei keiner einzelnen Prüfung so viel lernen können, als bei der des Herrn Oberl. Paulson (Physiker), da die Angaben desselben sich durch ausserordentliche Konsequenz und Präzision auszeichneten. Beiläufig bemerkt, sind diese beiden Herrn Zeichner und haben ihr Leiden frühzeitig bemerkt.

Bei meinen früheren Untersuchungen habe ich leider nicht den Grad der Farbenblindheit näher bestimmt. Unter 420 Männern fand ich 13 Farbenblinde (3,1%) und zwar 1 blau-gelbbl. und 1 total farbenblind. Unter 358 Frauen und jungen Mädchen hatte ich 1 Farbenblinde gefunden [die Dame schien total farbenblind (?) zu sein, doch konnte ich blos eine Versuchsreihe anstellen, wage daher nicht, eine Diagnose zu stellen, besonders da Inkonsequenzen vorkamen.]

Der Freundlichkeit des Herrn Dr. R. Schmidt, Oberarztes am ausserstädtischen Hospital, verdanke ich die Möglichkeit, an der dortigen Irrenanstalt eine Untersuchung anzustellen. Leider konnten blos 48 Irre geprüft werden, da bei den Uebrigen der Geisteszustand keine Untersuchung zuliess. Die beiden Farbenblinden waren rot-grünblind (4,2 %).

---

1) In England, wo man neuerdings die Holmgren'sche Methode eingeführt hat, sind jetzt auch auffallend viel Farbenblinde beobachtet worden. — Ob hier gleichfalls Mangel an Routine daran Schuld ist, werden spätere Untersuchungen zeigen. (s. British. Opht. Soc. 1881, april 8.)

Nach der Nationalität kamen auf:

Tabelle B.

I. Knaben.		Deutsche	Engländer	Schweden	Holländer	Russen	Polen	Franzosen	Italiener	Finnen	Letten	Juden	Armenier	Tataren
Gesammtzahl d. Unters.		852	22	17	5	584	48	27	2	7	8	15	2	8
$Fs \overline{\geqq} 0{,}2$	Anz.	52	4	1	—	35	2	1	—	—	—	4	1	1
	%	6,09	(18,18)	(5,88)	—	6,39	4,17	(3,70)	—	—	—	(27,67)	—	(12,50)
$FB \overline{\geqq} 0{,}5$	Anz.	18	1	—	—	15	1	—	—	—	—	2	—	—
	%	2,11	(4,55)	—	—	2,74	2,09	—	—	—	—	(13,89)	—	—
II. Mädchen.														
Gesammtzahl d. Unters.		453	1	7	1	204	15	9	—	—	—	5	—	—
$Fs >$ [1])$0{,}2$	Anz.	5	—	—	—	2	—	1	—	—	—	3	—	—
	%	1,13	—	—	—	0,98	—	(11,11)	—	—	—	(60,00)	—	—
$FB \overline{\geqq} 0{,}5$	Anz.	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	%	0,22	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

(Die eingeklammerten % sind wegen der geringen Anzahl der betreffenden Untersuchten ohne Bedeutung).

Tabelle C.

		1 Eltern verwandt	2 *Fs* in d. Fam. bemerkt	3 *Fs* selbst früher bem.	4 *Fs* erworben	5 Eine Kopfverletzung g.	6 An den Augen gelitten	7 Rot mit grau verwechs.	8 Grün mit grau verw.	9 Gegenfarben verwechs.	10 *Fs* rot = *Fs* grün	11 *Fs* rot > *Fs* grün	12 *Fs* rot < *Fs* grün	13 Sehschärfe $S = 1$
Knaben	v. 101 $Fs \overline{\geqq} 0{,}2$	4	8	13	3	14	15	10	16	5	8	50	43	71
	v. 37 $FB \overline{\geqq} 0{,}5$	1	7	11	1	3	4	8	11	4	2	21	14	29
Mädch.	v. 19 $Fs \overline{\geqq} 0{,}2$	1	0	0	1(?)	4	3	0	1	0	2	6	11	16
	v. $FB = 0{,}5$	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	1	1

1) Von den jungen Mädchen wurden nur die genauer geprüft, deren *Fs* > 0,2 war.

Jedenfalls ist ersichtlich, dass keine Nationalität — die Juden vielleicht ausgenommen — in besonderem Grade zur Farbenblindheit heit neigt. Meine Untersuchungen bestätigen die von Cohn u. A. gemachte Beobachtung, dass *die Sehschärfe von dem Farbensinne völlig unabhängig ist.*

Einen Einfluss der Pupillendistanz oder der Farbe der Iris habe auch ich nicht bemerken können. Ob Verwandtschaftsheiraten die Vererbung des Leidens begünstigen, steht noch dahin, indem die bezüglichen Angaben meist sehr unsicher sind, da oft die Eltern selbst nicht wissen, ob sie verwandt sind. Die Ziffer (Tabelle C, 2), welche die Anzahl der Fälle angiebt, wo Farbenschwäche in der Familie vorgekommen ist, ist sicherlich zu tief gegriffen, da man im Allgemeinen wenig darauf achtet, und die Betreffenden selbst, wie wir aus der Rubrik 3 sehen, oft keine Kenntnis von ihrem Leiden haben.

Zum Vergleich wollen wir noch eine Tabelle des von verschiedenen Forschern gefundenen Prozentsatzes der Farbenblinden zusammenstellen.

Tabelle D.

Name des Untersuchenden.	Wo untersucht.	Anzahl d. Unters.	Farbenblind Anz.	Farbenblind %[1]	Stand.
Holmgren (*c* p. 20)	Schweden	32165	1019	3,25	Männer
		7119	—	0,26	Frauen
Jeffries (*d* p. 1)	Nordamerika	14469	608	4,20	Schüler u. Stud.
		13458	9	0,07	Schülerinnen höherer Anstalten
Magnus u. Cohn	Breslau	2761	76	2,67	Schüler
		2318	1	0,04	Schülerinnen
Donders	Utrecht	2300	152	6,60	Eisenbahnb.
de Fontenay (*b*)	Kopenhagen	5287	149	3,57	Männer
		3663	13	0,45	Frauen u. Mäd.
Favre	Lyon	1050	98	9,33	Männer
		728	42	5,67	Eisenbahnb.
Minder	Bern	1429	95	6,58	Schüler und A.
Stilling	?	400	24	6,00	Eisenbahnb.
		78	2	2,55	Schüler
		800	2	0,25	Schülerinnen

1) Vergleichen wir den Prozentsatz der verschiedenen Forscher mit unserer Prozentkurve (Taf. III Fig 1), so sehn wir aus dem steilen Abfallen der letzteren (zwischen $Fs = 0{,}2$ und 0,6), wie leicht durch eine ungenaue Definition des Grades der Farbenschwäche, welcher als *Farbenblindheit* bezeichnet wird, oder durch die Anwendung verschiedener Methoden, der Prozentsatz schwanken kann.

Name des Untersuchenden.	Wo untersucht.	Anzahl d. Unters.	Farbenblind Anz.	Farbenblind %	Stand.
Macé u. Nicati (*a* p. 1)	Marseille und Grenoble	925	33	3,57	Schüler
		241	1	(0,41)	Schülerinnen
v. Reuss	Wien	800	—	3,50	Eisenbahnb.
Dor (*a* p. 2)	Berlin u. Stettin	860	40	4,65	Männer
Krohn	Finnland	1200	60	5,00	Eisenbahnb.
Kolbe	Livland	420	13	3,10	Männer
		358	1	0,28	Frauen u. Mäd.
	Petersburg	1567	37	2,36	Schüler
		695	1	0,14	Schülerinnen.
		48	2	(4,2)	Irrsinnige

Ohne eine die Massenuntersuchung ergänzende quantitative Bestimmung des Farbensinnes sind die % der verschiedenen Forscher nicht mit einander vergleichbar. Ein Mittel aus den Beobachtungen zu ziehn, hätte also keinen Sinn.

Darin stimmen alle Forschungen überein, dass die Farbenblindheit beim weiblichen Geschlechte 15 bis 20 mal seltener ist. Cohn bemerkte bereits, dass unter der jüdischen Jugend Breslau's eine stärkere Neigung zur Farbenblindheit zu herrschen scheine, als unter der christlichen. Wiewol die von mir erhaltenen Zahlen solches auch für Petersburg bestätigen, halte ich das Resultat doch noch für zufällig, da die geringe Anzahl der bisher untersuchten Juden keinen Schluss auf die Allgemeinheit zulässt.

2. Qualitative Untersuchung.

Wir müssen uns, der Kürze wegen, darauf beschränken, einige charakteristische Fälle herauszugreifen, und die Resultate tabellarisch zu ordnen. Da die Methoden bereits besprochen worden sind, können wir uns einiger Abkürzungen bedienen (die nach der folgenden Tabelle angeführt sind.)

Alle Untersuchten (ausser 1 und 2) wurden auch nach Dor's Tafeln (für 5 Meter) geprüft. Da das Resultat nicht um einen vollen Skalengrad differirte, so wurden die betreffenden Zahlen nicht angeführt, um Raum zu sparen.

Tabelle E. Uebersicht der qualit. Untersuchungen einiger charakt. Fälle.

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
Name:	Herr Stud. Hartmann.	Herr Oberl. Paulson.	Herr Mw. (Schüler).	Frl. Gs. (Schülerin).	Herr S.	Frl. Fn. (Schülerin).	Herr Gardeoff. Köppen.
Nationalität:	Deutsch.	Deutsch.	Russe	Deutsch.	Deutsch.	Deutsch.	Schwede
Ob *Fs* in der Familie bem.	2 von 4 Brüder u. 1 Onkel d. Mutter	?	nicht bekannt	nicht bekannt	nicht bekannt	nicht bekannt	1 Bruder total Farbenblind
Sehschärfe:	*l* u. *r* $S = -7{,}5$	$l = -2{,}0$; $r = -2{,}5$	$S = 1$	$S = 1$	$S = 1$	$S = 1$	$S > 1$
Stillings T. (durch rotes Rubinglas lesen Alle ausser № 7)	L alle, selbst II	n. g. 1, 2, 3, 4, I, II, III, IV, L 5 (v. and. Farbe!) und III, *a*, *b*, *c*, *d*	n. g. 1 bis 5 u. 11 mühs. 1 u. 3 L III, *a*, *b*, *c*, *d*	n. g. nur II mühs. 1 u. 3 L III, *a*, *b*, *c*, *d* Quadr. falsch gezählt bei 1—5 u. I	n. g. *b* (?) *c*, *d*, II sonst alle	n. g. *c*, *d*, II sonst alle, auch die Quadrate richtig gezählt.	mühs. *a*, *b* sonst keine. III nur bei schiefer Haltung der Tafel
Daae alte T.	3 8 10	3 7 9	keine als einfarb. anerkannt	3 7 8 **10**	8 10	N	1, 2, 3, **6**, 7, 8, 9
Daae neu. T.	**6 7** 10	**5**		8 **9**	2 (ausser *F*) 10		— nicht benutzt
Pflüger's T. (2 Flore)	mühs. 11 sonst alle	n. g. 1, 2, 3, 8, (9), 11 bei d. a. d. Buchst. grau. L 5 u. 10	sehr mühs. 1, 2, 3 unsicher 8, 9 n. g. 11 L. sonst alle	mühs. 11 sonst alle	L. alle ausser 10 u. 11	N	L (ausser gelb u. orange) nichts. Bei 1 Flor blos dunkle Flecken
Spektrum	*r* u. *v* etw. verk. sieht nur *bl* u. *g*.	grün (180°) farblos sieht nur *bl* u. *g*	*r* nicht verk. *v* etw. sieht 3 (?) Farben	—	*r* nicht verk. *v* etw.	*r* u. *v* nicht verk.	verk. zweifelhaft alles helle=gelb « dunkle=blau
Farbige Schatten (in farb. Wollen nachgel.	*r*=*g* *p*=*bl* 9=G. *r* *gr*=*bl*, *gr*=*bl*, *bl*=*bl*	—	*p*=*bl*, *r*=*bl*, *g*=*g* *gr*=*gu*, *gr*=*bl*, *bl*=*bl*	*r*=? *gr*=*gr* od. *bl* *gr*=*gu*, *p*=*r* *g*=*g*, *bl*=*bl*	*r*=*r*, *gr*=*bl*, *g*=*g* *gr*=*bl*, *r*=*g*, *bl*=*p*	*r*=*r* u. *g*, *p*=*p* u. *r* *gr*=*gr*, *gr*=*gr* *g*=*r* u. *g*, *bl*=*r* u. *bl*	alles grau nur *g*=*g* od. *r* *bl*=*bl*, *gu* od. *p*

Holmgreens Wollproben (nach Schattirungen geordnet, wobei d. richt. Farbenton fett gedruckt ist. S. Taf. II Fig. 1 und Taf. III Fig. 2	**300°** 0,7 + 10° ... 326° 0,7 + 0° (175° 0,8—40°) 221° 0,7 + 15 175° 0,6 + 0°	fast N (+ 0,7) (+ 0,1) (— 0,3) **175°** 0,8 — 10° 20° 0,9° + 40°	321° 0,7 + 15° **300°** 0,6 + 10° ... ... 263° 0,7 + 20° **175°** 0,8 — 10° (— 0,6)	310° 0,7 + 9° **300°** 0,6 + 10° 350° 0,8 — 10 (30° 0,7 — 20°) **175°** 0,7 + 40° 165° 0,4 + 20° 170° 0,4 + 10° 185° 0,5 — 10° ...	154° 0,7 — 40° **300°** 0,7 + 10° 250° 0,8 — 10° 331° 0,7 — 25° **175°** 0,7 + 10° ... 185° 0,8 + 20° 160° 0,7 — 10° ...	**300°** 0,7 + 10° 320° 0,8 + 0° 295° 0,7 — 20° 300° 0,7 — 20° **175°** 0,7 + 30° ... 160° 0,7 + 10° 175° 0,8 — 10° ...	224° 0,7 + 10 325° 0,8 — 10° **300°** 0,8 — 20° 0° 0,8 — 20° 0° 0,8 + 40° 140° 0,7 + 20° **175°** 0,7 + 10° 210° 0,8 — 10° 65° 0,7 — 30°
Reihenfolge φ r σ	**30°** 0,8 + 20° 165° 0,7 + 15°	**30°** 0,9 + 40 — 20° 0,8 + 10° 0° 0,9 + 20°	(+ 0,7) 142° 0,6 + 10° ... **30°** 0,7 + 30°	30° 0,8 + 20 ... 45° 0,3 — 20 50° 0,8 — 40	fast N	N	**30°** 0,8 + 10° 145° 0,7 — 10° 0° 0,8 + 0° 160° 0,7 — 20°
Farbenton Sättigung Schattirung	**0°** 0,9 + 10° ... 331° 0,8 + 15° 312° 0,7 + 10° 330° 0,8 — 5°	fast N	**0°** 0,9 + 25° 300° 0,8 + 0° ... ... 0° 0,9 — 10°	**0°** 0,9 + 10° ... 330° 0,8 + 10° 310° 0,7 + 0° ...	**0°** 0,8 + 10° ... 80° 0,7 + 0° 320° 0,6 — 20° ...	**0°** 0,9 + 20° ... 30° 0,7 + 10° 0° 0,8 + 0° ...	(0,7) **0°** 0,8 + 20° 140° 0,7 + 20° 175° 0,7 — 15° 130° 0,8 — 15°
Eigene Farbensättigungstafel	—	—	r=0,91 bl=0,15 gr=0,84 g=0,10	r=0,20 bl=0,09 gr=0,30 g=0,10	r=0,15 bl=0,55 gr=0,20 ge=0,60	r=0,09 bl=0,25 gr=0,10 ge=0,25	r=1,00 bl=0,90 gr=1,00 g=0,80
Diagnose	rot-grünblind	rotgrünblind	rotgrünblind	rotgrünblind	blaugelbblind	bl-g. schwach	total Farbenbl.
$Fs = \frac{R' - R}{R'}$	—	—	0,9	0,5	0,8	0,4	rotgr. = 1,0 blaugelb = 0,9

Bei Stilling's *Tafeln* bedeuten 1, 2, 3, 4, 5 die neuen Tafeln für Rot-grünblinde, I, II, III, IV die auch für Simulanten eingerichteten, a, b, c, d die Tafeln für Blau-gelbblinde.

Bei Daae's *Tafeln* sind die als gleichfarbig anerkannten Zeilen angegeben, wobei die falschen fett gedruckt sind. Bei Pflüger's *Tafeln* sind die Blätter der Reihe nach von 1 bis 11 nummerirt. Bei *Holmgren's Wollproben* sind die als gleichfarbig angesehenen Farben nach der Schattirung (wie sie dem Farbenblinden erscheinen) von hell nach dunkel geordnet, und zum besseren Vergleich in der oben (pag. 23) angegebenen Weise nach ihren Polarkoordinaten bestimmt und blos letztere angegeben. Wo mehrere Schattirungen desselben Farbensinnes auf einander folgten, sind ... gemacht. Der Farbenton der vorgelegten Farbe ist fett gedruckt. Es bedeutet ferner: n. g. = nicht gelesen; mühs. = mühsam gel.; L = gelesen. N = normal, verk. = verkürzt. Bei Farben: r = rot, g = gelb, gr = grün, bl = blau, p = purpur, gu = grau.

(Bei der Farbensättigungstafel wurde im Durchschnitt als normal beobachtet: r = 0,08, gr = 0,09, g = 0,10, bl = 0,11.)

Anm. Die quantitativen spektroskopischen Bestimmungen sind nicht bei allen hier angegebenen Farbenblinden in Anwendung gekommen und daher in dieser Arbeit übergangen. Bei № 3 und № 5 ist die Angabe bei der Farben-Sättigungstafel ersetzt worden durch die beim Farbenmesser erhaltene genauere.

Schon aus den Koordinaten der Verwechselungsfarben der hier angeführten Farbenblinden, sehen wir, *dass die Verwechselungsfarben nicht immer die Gegenfarben sind*, wie schon Stilling betont. Noch deutlicher tritt dieses hervor, wenn wir die Verwechselungsfarben geometrisch darstellen, indem wir (Taf. III Fig. 2) in konzentrischen Ringen die Verwechselungsfarben mit purpur, grün, rot und blau durch ihren Ort im Farbenkreise (Taf. II Fig. 1) angeben, wobei wir die Spitze der Dreiecke nach innen kehren, wenn die betreffende Farbe mit Grau verwechselt wurde[1]).

1) Wollten wir die Sättigungsstufe auch durch die Stellung markiren, so

Will man die Farbennüancen angeben, so kann man die Ringe etwa 5 mm breit nehmen und auf den betreffenden Dreiecken den Sättigungs- und Schattirungsgrad verzeichnen.

In dieser ganzen Untersuchungsreihe habe ich blos 4 Farbenblinde die Gegenfarben verwechseln sehn (11% aller Farbenblinden). Wollte man erst hier die Diagnose auf Farbenblindheit stellen, so hätten wir statt 2,36% blos 0,26% Farbenblinder zu vermerken. Wie wenig übrigens die Verwechselungsfarben einen Schluss auf den Grad der Farbenschwäche gestatten, beweist ein Fall, wo ich einem Schüler, der Krankheitshalber zur Spezialprüfung nicht erschienen war, aus der Analogie mit Anderen den Grad 0,7 beilegen konnte, während eine spätere quantitative Prüfung blos $Fs = 0{,}47$, also kaum 0,5 ergab.

Die charakteristischen Verwechselungsfarben bieten ein wertvolles, aber nicht sicheres Hilfsmittel zur Diagnose der Art der vorliegenden Farbenblindheit, lassen uns aber völlig im Stich, wenn wir nach ihnen den Grad der Farbenschwäche bestimmen wollen. *Zu einer sicheren Diagnose und zur graduellen Abschätzung der Farbenblindheit müssen wir quantitative Methoden zu Hilfe nehmen.*

3. Geometrische Darstellung der Farbenblindheit.

Wie wir bei der Besprechung der quantitativen Methoden gesehn haben, können wir bei der Bestimmung des minimalen Reizes, welcher zur Wahrnehmung einer Farbe genügt, die gefundenen Reizschwellenwerte für die verschiedenen Farbentöne nicht mit einander vergleichen, da die relative Grösse der Schwellenwerte sich mit der

---

brauchten wir blos die Verwechselungen mit einer bestimmten Farbe durch ein besonderes Zeichen (△, ○, □ u. s. w.) zu bezeichnen und unmittelbar die Lage auf dem Farbenkreise anzugeben. Was man an scheinbarer Einfachheit gewinnt, geht an Uebersichtlichkeit verloren; auch müsste man die Schattirungsgrade doch in Zahlen hinzufügen.

Intensität der angewandten Farbe ändert. Eine geometrische Darstellung derselben hätte also keinen Sinn.

Wir sind, wie gesagt, gezwungen, stets die Beobachtung gleichzeitig auch für ein oder besser verschiedene, normalsichtige Augen anzustellen, und müssen die Grösse der Reizschwelle des Untersuchten messen durch die unter denselben Bedingungen erhaltene Reizschwelle des Normalsichtigen.

Da nun die Pigmentfarben für grössere Untersuchungen stets in Anwendung bleiben müssen, so wollen wir eine Versuchsreihe vollständig wiedergeben, um den Beweis zu liefern, dass die benutzten Methoden, innerhalb der von uns gesetzten Grenzen, mit ausreichender Genauigkeit die gewünschten Resultate liefern können[1]).

Prüfung des Rot-grünsinnes.

Untersuchter: *M-w*,[2]) Schüler, Russe. Eltern nicht verw.; Farbenbl. in der Fam. nicht beob.; — brünet, Haar (94° 0,5—80°); Iris dk. braun (65° 0,6—70°). Alter 14 Jahr; *S* beiderseits normal.

Untersuchender: *B. K.*, *S* links normal; rechts = — 6,0 (Landolt) verb. mit Ast. + 0,5 (obeninnen — untenaussen). Bei Dor's Tafeln das linke Auge allein benutzt. (S. pag. 57).

Methoden: I. *Dor's Tafel* für 5 Meter. II. Mein *Farbenmesser* in 1 Meter Abstand. Die Kegelmäntel sind, zum besseren Vergleich, mit dem genau entsprechenden Heidelberger Blumenpapier beklebt. Rotationsgeschwindigkeit 10—15 mal per Sekunde. Zeit 10^h a bis 1^h p. *Beleuchtung besonders günstig.* Bewölkung: 3 S ⊙.

---

1) *Das beste Mittel zur Kontrolle bietet die Berechnung des wahrscheinlichen Fehlers* (s. a. d f. S.). Nach meinen Erfahrungen ist es bei Prüfungen des Farbensinnes *nicht ratsam, mehr als 5 Einzelbeobachtungen* einer Grösse zu machen, da durch die unvermeidliche Ermüdung des Auges Schwankungen eintreten, welche unter Umständen den wahrscheinlichen Fehler des Mittels sogar grösser werden lassen, als er bei den ersten 5 Beobachtungen war.

2) Vergl. pag. 74 Tabelle E, 3.

I. Dor's Tafeln für 5 Meter[1]). (Einheit = 1 Meter.)

rot		grün	
M-w	*B. K.*	*M-w*	*B. K.*
2,0	9,0	1,0	9,0
2,5	10,0	2,5	8,5
2,5	9,5	1,5	9,0
2.0	9,0	1,5	7,5
3,0	9,0	1,0	8,0
2,40	9,10	1,50	8,40
±0,13	±0,22	±0,20	±0,20

II. Farbenmesser in 1 Mtr. Abstand. (Einheit = 0,1 der Sättigung.)

rot		grün	
M-w	*B.K.*	*M-w*	*B. K.*
55	8	85	8
50	7	75	9
45	7	70	8
52	8	87	7
60	9	88	8
52,40	7,80	81,00	8,00
±1,19	±0,31	±2,42	±0,07

Der wahrscheinliche Fehler[2]) $w = \frac{2}{3}\sqrt{\frac{[u\,u]}{n(n-1)}}$ (wo u den Unterschied zwischen dem arithmetischen Mittel und den Einzelbeobachtungen, n die Anzahl der Beobachtungen, hier 5, bedeutet) zeigt eine für physiologische Untersuchungen genügende Genauigkeit des Mittels an.

Aus diesen Reizschwellenwerten finden wir (s. o. pag. 66) $\frac{E-E'}{E} = Fs$

I. Bei Dor's Tafeln.

a) nach der Formel von Donders: Fs (rot) $= \frac{9{,}1^2-2{,}4^2}{9{,}1^2} = 0{,}93$;

$K = \left(\frac{d}{D}\right)^2$ $\qquad$ Fs (grün) $= \frac{8{,}4^2-1{,}5^2}{8{,}4^2} = 0{,}96$

b) nach Dor: $\qquad$ Fs (rot) $= \frac{9{,}1-2{,}4}{9{,}1} = 0{,}73$;

$Vc = \frac{d}{D}$ $\qquad$ Fs (grün) $= \frac{8{,}4-1{,}5}{8{,}4} = 0{,}82$

II. Beim Farbenmesser: Fs (rot) $= \frac{52{,}4-7{,}8}{52{,}4} = 0{,}85$;

---

1) Dass bei den Dor'schen Tafeln bei Weitem nicht die maximale Farbenschärfe angegeben ist, beweist eine Untersuchungsreihe, wo Herr Ed. Ehrnroth, Gardelieutenant, der allerdings ein ausserordentlich scharfes Auge hat, dieselbe für 5 Meter bestimmte Tafel mit Sicherheit erkannte: bei grün in 15 Meter Entfernung, rot 14 Meter, gelb 11 Meter, blau 8 Meter (u. zwar im Zimmer).

2) Die genauere Konstante des w. Fehlers 0, 6 7 4 4 8 9 6 ist durch den hier genügenden und weit bequemeren Bruch $^2/_3$ ersetzt.

$$Fs\,(\text{grün}) = \frac{81{,}0-8{,}0}{8{,}1{,}0} = 0{,}90$$

Da beide Untersuchungsmethoden auf völlig verschiedenen Prinzipien beruhn, so ist die Uebereinstimmung als genügend zu bezeichnen, und zwar *stimmen die Werte des Farbenmessers besser mit den nach der Donders'schen Formel berechneten überein.*

(Anm. Legen wir der Berechnung der Farbenschwäche die, nach einer den minimalen Gesichtswinkel messenden Methode gefundenen Zahlen zu Grunde, so erhalten wir nach der Donders'schen Formel, da $K = \left(\frac{d}{D}\right)^2$, als Ausdruck der Farbenschwäche

$$Fs = 1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2 = \frac{D^2-d^2}{D^2}.$$

Betrachten wir D als Hypotenuse und d als Kathete eines rechtwinkligen Dreiecks, dessen d anliegender Winkel $= \psi$ ist, so finden für die ψ gegenüberliegende Kathete $p = \sqrt{D^2-d^2}$; mithin ist $Fs = \left(\frac{p}{D}\right)^2 = sin^2\psi$ und da $\frac{d}{D} = \cos\psi$ ist, so erhalten wir als Farbenschwäche

$$Fs = sin^2 \text{ arc } \left(\cos = \frac{d}{D}\right) = \sin^2\psi.$$

Die Beziehung zwischen dem $\angle\psi$ und dem $\angle\varphi$ (dem Farbentone der benutzten Farbe) konnte ich nicht weiter verfolgen, da das vorliegende Material nicht ausreicht; auch ist es hiebei nötig die Donders'sche Methode mit dem Spektroskop zu verbinden, da die farbigen Gläser, oder gar die Pigmentfarben nicht genügen. Hiebei ist Sonnenlicht erforderlich (s. o. pag. 48), wodurch diese Untersuchungen sehr langwierig werden können, da man von der Witterung abhängig ist).

Da die folgende geometrische Darstellung der Farbenschwäche auf jede quantitative Methode anwendbar ist, so wird es genügen, eine mit dem Farbenmesser [1]) angestellte Versuchsreihe wiederzugeben und zur Konstruktion der Kurven zu benutzen.

---

1) Spektralmethoden sind sehr zeitraubend, und die bisherigen quantitativen Pigmentfarbenmethoden (Donders, Dor, Weber) sind an bestimmte vorhandene Farbentöne gebunden, während ich mit meinem Apparate, in der oben beschriebenen Weise, die Farbentöne (durch Mischung) und die Schattirung innerhalb ziemlich weiter Grenzen variiren lassen kann.

In den Farbentönen der Aequatorialebene unseres Farbenkreises wurden zwei (ein Rotgrünblinder und ein Blaugelbblinder) geprüft. In Bezug auf die Meridianebenen liegt hier eine Beobachtungsreihe mit dem Rotgrünblinden vor.

Tabelle F.

Aequatorialebene (Taf. II, Fig. 2).

		Sättigung r			Fs				Sättigung r			Fs	
Farbe.	φ	BK.	M-w	S.	M-w	S.	Farbe.	φ	BK.	M-w	S.	M-w	S.
purpur	5°	12	68	20	0,35	0,40	grün	175°	8	85	10	0,91	0,20
rot	30°	7,8	52	10	0,85	0,25	blaugrün	215°	10	26	13	0,61	0,25
orange	40°	8	40	13	0,80	0,36	hellblau	230°	12	19	18	0,37	0,33
or. gelb	67°	8	18	19	0,55	0,57	blau	263°	13	19	26	0,32	0,50
gelb	134°	10	13	25	0,23	0,60	blau	278°	12	18	28	0,33	0,56
.grüngelb	155°	42	42	15	0,75	0,50	violet	332°	15	40	31	0,62	0,50
.gelbgrün	170°	8	85	10	0,91	0,11?							

Tabelle G.

t-grüner Meridian (Taf. II, Fig. 3).

I rot, $\varphi = 30°$				II grün, $\varphi = 215°$			
σ	BK	M-w	Fs	σ	BK	M-w	Fs
30°	27	>100	1,0 ?	+60°	18	>100	1,0 ?
30°	10	90	8,9	+30°	11	25 ?	0,35?
0°	7,8	52	8,5	0°	10	26	0,61
30°	10	93	9,0	−30°	12	0,87?	0,87?
30°	30	>100	1,0 ?	−60°	16	1,0 ?	1,0 ?

Tabelle H.

blau-gelber Meridian (Taf. II, Fig. 4).

I gelb, $\varphi = 134°$				II blau, $\varphi = 263°$			
σ	BK	M-w	Fs	σ	BK	M-w	Fs
+60°	17	33	0,49	+60°	14°	35	0,60
+30°	11	20	0,45	+30°	12°	28	0,54
0°	10	13	0,23	0°	10°	16	0,37
−30°	13	21	0,38	−30°	10°	20	0,50
−60°	15	30	0,50	−60°	11	27	0,59

Ad F. Die Gegenfarbe zu purpur (5°) und zu rot (30°) genau zu treffen gelang mir nicht. (Die Probe wurde vermittelst der Nachbilder angestellt).

Die Werte für $\varphi = 230°$ und 263° wurden bei einer späteren Prüfung erhalten, haben also nicht dasselbe Gewicht.

Ad G. Für $\sigma \gtrless 60°$ konnte kein Resultat bei $\varphi = 30°$ und 185° erhalten werden, da selbst für $r = 100$ keine Farbe wahrgenommen wurde.

Ad G, II. Diese Reihe ist offenbar schlecht, indem bei dem höheren Schattirungsgrade ein kleinerer Wert für *Fs* sich ergiebt, was den übrigen Reihen und der Erfahrung widerspricht, indem Farben hellerer und dunklerer Schattirung leichter verwechselt werden, als die mittlerer.

Ad H, I. Diese Reihe dürfte vielleicht das beste Bild von dem Verlaufe der Meridiankurve geben.

Die Bestimmung der *Kurve der Farbenschwäche in der Aequatorialebene ist weniger Schwankungen ausgesetzt und für unsere Zwecke bei weitem wichtiger.*

Der Verlauf der Kurven (Taf. II Fig. 2) zeigt, dass dieser Blaugelbblinde in nicht unbedeutendem Grade rot-grünschwach (0,2 bis 0,3) ist[1]). Auch beim Rotgrünblinden ist eine Herabsetzung des Blau-gelbsinnes bemerkbar, doch ist dieselbe verhältnismässig geringer.

Die vorstehende Darstellungsweise dürfte sich ihrer Einfachheit und ihrer Uebersichtlichkeit wegen besonders dazu eignen, die individuellen Schwankungen des Farbensinnes, etwa nach Krankheiten[2]), *zu verfolgen.* Von besonderer Wichtigkeit könnte dieses bei der Untersuchung Eisenbahnbeamter werden[3]).

---

1) Diese Beobachtung ist wiederholt gemacht worden, weshalb auch einige Forscher behaupten, dass Blau-gelbblindheit *immer* mit Rot-grünblindheit verbunden sei. Dass dieses wenigstens für die leichteren Grade der Blaugelbschwäche, nicht zutrifft, haben wir oben gesehn, indem bei Frl. F. *Fs* (*bl-g*) = 0,4 und *Fs* (*r-gr*) = 0,0 ist.

2) Einen sehr interessanten Fall von erworbener Farbenblindheit teilte mir Prof. Quaglino (Pavia) freundlichst brieflich mit (Dec. 1880). Ein Banquier aus Turin, 30 Jahre alt, hatte einen Anfall von Apoplexie (mit Hemiplegie und Hemianopsie) gehabt, und war nach Heilung der Hemiplegie *total farbenblind* und blieb es bis an sein Ende. (Dieser Fall ereignete sich vor etwa 10 Jahren und ist von den Proff. Verga und Biffi beschrieben worden) (in Warlomont's Journ. d'opht.)

Dass bei Netzhautablösungen Farbenblindheit eintreten kann, ist wiederholt beobachtet worden; vergl. Cohn (*a*). — Wie schon in der Einleitung bemerkt, wirkt auch übermässiger Genuss des Tabaks oder des Alkohols schädlich auf den Farbensinn; ebenso das Tragen farbiger Brillen. (S. o. pag. 39)

3) Ein Lokomotivführer teilte mir persönlich mit, dass sein Farbensinn in den letzten Jahren gelitten habe, wiewol er keine Kopfverletzung oder eine an-

Das Verdienst, zuerst auf die Möglichkeit der Erwerbung der Farbenblindheit hingewiesen und die Tragweite dieses Umstandes erkannt zu haben, gebührt wol Dr. Favre in Lyon und demnächst vielleicht Holmgren (c, 2. p. 95).

Für rein praktische Zwecke wird es genügen, den Farbensinn für die Farben *rot* und *grün*, *blau* und *gelb* zu prüfen; und zwar möchte ich, um eine bessere Vergleichbarkeit zu erzielen, vorschlagen: 1) $\varphi = 31{,}2°$ ($\lambda = 6561$); 2) $\varphi = 104{,}5°$ ($\lambda = 5894$); 3) $\varphi = 180{,}0°$ ($\lambda = 5207$); 4) $\varphi = 284{,}2°$ ($\lambda = 4860$), da diese Farbentöne recht gleichmässig auf dem Farbenkreise verteilt und durch intensive Fraunhofer'sche Linien markirt sind.

Für Pigmentfarben empfehle ich: 1) Vermillon (rot), 2) mittl. Chromgelb, 3) Permanentgrün, 4) Kobaltblau (Oelfarben von Mewes in Berlin), da diese Farben sich leicht gleichmässig auftragen lassen. Natürlich muss man das Einreiben (s. o. pag. 58) so lange wiederholen, bis keine Steigerung der Sättigung mehr wahrgenommen wird.

Fassen wir die gewonnenen Resultate in Kürze zusammen, so sehn wir:

1. Die von den einzelnen Farbenblinden derselben Art verwechselten Farbentöne sind unter sich nicht identisch und in den seltensten Fällen komplementär.

2. Zu einer sicheren Diagnose ist eine quantitative Prüfung des Farbensinnes unerlässlich. Hiebei ist die Benutzung der Skala der Farbenschwäche zu empfehlen. Eine geometrische Darstellung der individuellen Farbenblindheit hat den Vorzug der leichteren Uebersichtlichkeit.

3. Es ist notwendig, den Begriff der „Farbenblindheit" schärfer zu definiren, als bisher; und empfiehlt sich, als Farbenblindheit

---

dere Krankheit gehabt. Da er kein Raucher oder Trinker ist, so ist vielleicht anzunehmen, dass *der stete Wechsel von Hitze und Kälte*, dem er als Lokomotivführer ausgesetzt ist, *die Herabsetzung des Farbensinnes bewirkt hat. Umsomehr ist eine periodische sorgfältige Prüfung des Eisenbahnpersonales geboten.*

den Grad der Farbenschwäche zu bezeichnen, bei welchem der Farbensinn um die Hälfte des normalen herabgesetzt ist, also $Fs = 0{,}5$.

4. Das getrennte Vorkommen der Rotblindheit und der Grünblindheit ist noch nicht mit Sicherheit konstatirt. Die Existenz der Grün-purpurblindheit ist zweifelhaft.

5. Im Allgemeinen ist die Herabsetzung des Farbensinnes für rot und grün von ungleichem Grade. (Für Blau-gelbblindheit liegen zu wenig quantitative Bestimmungen vor, doch ist auch hier dasselbe Resultat wahrscheinlich).

6. Zur Vorprüfung, d. h. zu Massenuntersuchungen, sind Holmgren's Wollproben und Stilling's neue Tafeln allen anderen Methoden vorzuziehn. Wo es die Zeit gestattet, sollten beide Methoden gleichzeitig benutzt werden.

7. Den besten Schutz vor Simulation bietet die Wiederholung der gesammten Prüfung nach einigen Wochen, wobei natürlich die Verwechselungsfarben genau zu notiren sind (s. o. pag. 35).

8. Auch mit quantitativen Pigmentfarben-Methoden kann der Grad der Farbenschwäche mit einer für die Praxis genügenden Genauigkeit bestimmt werden, wenn die Sehschärfe des Untersuchten grösser als $^1/_5$ der normalen ist $\left(\text{Snellen } S \geqq \frac{20}{100}\right)$. Bei geringerer Sehschärfe ist die Prüfung des Farbensinnes überhaupt unsicher.

V. Kapitel.

Die Erziehung des Farbensinnes.

Wol jeder, der sich längere Zeit hindurch systematisch mit dem Studium der Farben abgegeben hat, wird die Erfahrung gemacht haben, dass ihm nachher feinere Unterschiede in den Farbennüancen wahrnehmbar waren, als ehedem. Sollte man daraus schliessen dürfen, dass eine fortgesetzte Uebung am Ende auch Farbenblinde be-

fähigen müsste, sich wenigstens in soweit in der Unterscheidung der Farben zu vervollkommenen, dass er im Stande wäre, auch solche technische Gewerbe zu betreiben, die einen einigermassen ausgebildeten Farbensinn verlangen, wie der Dienst an der Eisenbahn etc.

Wie schon in der Einleitung bemerkt, ist die Frage der Heilbarkeit der angeborenen Farbenblindheit noch ungelöst. Jedenfalls verdient der Eifer, mit dem Dr. Favre in Lyon sich der Prüfung und Erziehung des Farbensinnes[1]) annimmt, die grösste Anerkennung; doch sind die erzielten Resultate keineswegs sicher, da die Untersuchungsmethode, deren sich Dr. F. bediente, manche theoretische Bedenken zulässt. Auch hat er erst in letzterer Zeit quantitative Bestimmungen gemacht (Dor, *e*). Stilling und Cohn (*e*) behaupten zwar, dass Farbenblinde sich mit der Zeit so einüben können, dass sie Holmgren's Wollproben richtig aussuchen, sind aber vorläufig den Beweis schuldig geblieben[2]). Vom theoretischen Standpunkte aus kann man zur Zeit die Heilbarkeit des Uebels weder bejahen noch verneinen, da uns das Wesen desselben nicht bekannt ist. Unter den Spezialisten giebt es wol nur einzelne, welche noch der Heilbarkeit der angeborenen Farbenblindheit das Wort reden. Entschieden kann diese Frage erst werden, wenn bei Farbenschwachen quantitative Bestimmungen des gesammten Farbensinnes periodisch wiederholt werden, und wenn die Betreffenden sich unterdessen systematisch geübt haben.

Selbst wenn man von der Unheilbarkeit des Leidens überzeugt ist, wird man den Nutzen einer systematischen Uebung des Farbensinnes bei dem Normalsichtigen nicht leugnen können, wenn man

---

1) Dr. Favre (*b* pag. 6) sagt die beherzigenswerten Worte: «Je réclame formellement l'introduction des exercices sur les couleurs dans toutes les écoles, dans l'armée, dans la marine et dans les chemins de fer; je suis persuadé qu'à l'aide de précautions que j'indique un grand nombre d'accidents seront évités, et j'espère être assez heureux, pour faire rayer le daltonisme congénital du cadre nosologique.»

2) Ich weise nochmals darauf hin, dass die Sicherheit der Holmgren'schen Methode ganz von deren Handhabung abhängt. Flüchtig ausgeführt ist sie völlig unbrauchbar.

bedenkt, wie viele Gewerbe einen geübten Farbensinn verlangen. Der im Unterscheiden und Sortiren von Farben Geschulte wird sich sicherlich rascher einleben und als brauchbarer erweisen, als der Ungeübte. Für uns tritt nun die Frage in den Vordergrund:

«*Ist die Schule der geeignete, resp. der geignetste Ort, um die Erziehung des Farbensinnes zu leiten*, oder soll man dieselbe der Familie überlassen?»

Um diese Frage zu entscheiden, wollen wir uns darüber orientiren, welches der Zweck eines solchen Unterrichtes ist, und welcher Hilfsmittel wir bedürfen.

A. Zweck des Unterrichtes.	B. Hilfsmittel.
1. Den Kindern ist eine richtige Bezeichnung der Farbentöne und deren Abstufungen beizubringen.	*Ad 1.* Eine gut geordnete Farbenskala. Empfehlenswert ist: „Otto Radde's internat. Farbenskala (Hamburg)“, doch genügt sie nicht, da die Farben durch Anwendung des Bleiweiss einen hässlichen gelben Ton in den helleren Schattirungen haben. Auch fehlen Sättigungsstufen und Uebergangsfarben ganz. Brauchbar dürfte der oben (pag. 58) beschriebene Farbenmesser sein (auch ad. 4 b.)
2. Es sollen durch Vergleich mit einer guten Farbenskala vorgelegte Proben, wie bunte Wollen, Blumen, etc. nach Farbenton, Sättigung und Schattirung bestimmt werden.	*Ad. 2 u. 3.* Ein ausreichend grosser Vorrat von Wollproben. deren Schattirungs- und Sättigunsstufen genügend vertreten sein müssen.
3. Sind Farben nach obigen Abstufungen und nach Ueber-	*Ad. 3.* Die neuerdings hier bekannt gewordenen Günzburg'-

gängen zu ordnen und zu zeichnen.

schen Pinsel und Oelfarben. — Für jede Farbe mindestens ein Pinsel. Als Material gewöhnl. Zeichenpapier.

4. Sind a) Farbstoffe b) Farben (s. o. p. 24) zu mischen und die Mischfarbe zu bestimmen.

5. Sind bestimmte, geforderte Farbengemische (Pigmentfarbengemenge) und Mischfarben (s. o. p. 24) an der Hand der gewonnenen Erfahrung herzustellen.

Ad 5. Ein Flintglasprisma (dessen Kanten nicht kleiner als 40^{mm} sind), um die geg. Farben zu analysiren. (Hiezu verdeckt man dieselbe mit einem genügend grossen mit schwarzem Sammt überzogenen Schirm, der blos eine Spalte von 2^{mm} Breite und 20 — 40^{mm} Länge hat, und betrachtet den durchschimmernden farbigen Streifen durch das Prisma.) Da Gegenfarben sich neutralisiren, so kann man leicht störende Farbentöne in dem betreffenden Farbengemisch beseitigen.

6. Ist die Wirkung des Hintergrundes auf den Farbenton zu zeigen.

Ad 6. Farbiges Zeug, 1 Meter im Quadrat. Notwendig ist: weiss, rot, grün, blau; wünschenswert noch: schwarz, neutralgrau, violet, purpur.

7. Farbige Schatten als Kontrastwirkung zu demonstriren.

Ad 7. Einige Stück farb. Glases (s. oben pag. 36).

8. (Besonders in Mädchenschulen) sind die harmonischen Farben zu zweien und zu dreien auszusuchen.

Ad 8. Der unter E. Brücke's Leitung angefertigte Farbenkreis mit 20 Anwendungstafeln (darunter harmonische Triaden) ist sehr kostspielig und dabei nicht

genau, da die Uebergänge ungleichmässig sind. Als Unterrichtsmittel immerhin sehr brauchbar. (Siehe Anhang, F.)

Dass letztere Uebung (8) nicht überflüssig ist, beweist der sonderbare Geschmack, den viele Menschen bei der Wahl ihrer Toilette zeigen. Manche Handarbeit bietet eine Zusammenstellung von Farben, die sich uns durch den Umstand, dass Wollrester verbraucht werden sollten, erklären, aber nicht entschuldigen lässt.

Um mich direkt von dem herrschenden Geschmacke zu überzeugen, liess ich mir von erwachsenen Damen und von jungen Mädchen aus den obersten Klassen je 3 Wollfäden von der Farbe aussuchen, die zusammen den wohltuendsten Eindruck auf das Auge machen; und zwar sollte die Länge der Fäden (5 bis 15 cm.) der Menge der betreffenden Wolle proportional sein, in welcher sie zu einer Arbeit verwandt werden könnten.

Von den eingelaufenen 380 Triaden enthielten die Kombinationen rot-blau-gelb 84 (22%); purpurrot-cyanblau-gelb 14 (4%); rot-grüngelb 29 (8%); orange-grün-violet 34 (9%), im Ganzen 161 (42%) ausserdem: in unreinen Farben 178 (44%); rot-blauviolet-grünblau 8 (2%); gelb-blau-grün 5 (1%); durch ein Versehn blos zweifarbig 28 (8%).

So vielen Zufälligkeiten dieser Versuch auch ausgesetzt gewesen ist, so zeigt er doch, dass in vielen Fällen Farben zusammengestellt wurden, die schlechterdings nicht zusammenpassen.

Allen, die sich für die Harmonie der Farben interessiren, seien die unter A, B, C, D, E, F angeführten Werke zur Ansicht empfohlen. Bei uns, wo die Stickereien im slavischen Stile so beliebt sind, sollten in keiner Bibliothek einer Mädchenschule die „Ornamente südslavischer Kunst und Hausindustrie“ (C) fehlen.

Wie wir sehn, ist die Menge der zum systematischen Unterrichte erforderlichen Utensilien nicht gering. Ausserdem gehört eine

geschulte Lehrkraft dazu, damit der Erfolg gesichert ist. Da beide Faktoren wol nur an einem grösseren Institute stets beschafft werden können, so liegt es auf der Hand, dass die Schule allein der geeignete Ort ist, wo der systematische Unterricht stattzufinden hat. In der Naturgeschichts- resp. Handarbeits-Stunde liessen sich wol monatlich einige solcher Uebungsstunden in den unteren und mittleren Klassen einfügen, ohne dass der Stundenplan eine Aenderung zu erfahren brauchte. Natürlich müsste die Tageszeit passend gewählt sein, etwa zwischen 11 und 1 Uhr Mittags. — Die Schüler könnten auch kleine häusliche Arbeiten, wie das Zeichnen (resp. Ausnähn) von Schattirungsskalen etc. aufbekommen und müssten allmonatlich kontrollirt werden.

Die Literatur über die Erziehung des Farbensinnes ist nicht sehr reichhaltig. Zuerst hat wol Dr. Favre in Lyon sich um diese Frage verdient gemacht, indem er die obligatorische Einführung der Uebung des Farbensinnes forderte.

Von Hirlinger und Magnus sind Tafeln zum methodischen Unterrichte hergestellt worden, die gewiss brauchbar sind, besonders die letzteren, aber nicht präzise genug den leitenden Gedanken verfolgen. Die Farbenstufen sind aus verschiedenen Farbentönen und verschiedenen Sättigungsgraden gebildet, also nicht rein, weshalb ich sie auch nicht unter den Hilfsmitteln für den Unterricht aufführte.

Von der übrigen einschlägigen Literatur sagt Magnus mit Recht, dass sie nicht klar sei, indem kein festes Prinzip befolgt wurde. Wir können dieselbe daher ohne weiteres übergehn.

Die historische Entwickelung des Farbensinnes.

In neuerer Zeit hat man versucht den Beweis zu führen, dass der Farbensinn in historischer Zeit erworben resp. vervollkommnet worden sei. Diese Gladstone-Geiger-Magnus'sche Hypothese stützt sich hauptsächlich auf den Umstand, dass die alten Völker, wie z. B. die Griechen zur Zeit Homer's, keine Ausdrücke für grün (?), blau und violet gehabt haben, wie aus ihrer Literatur ersichtlich. Hieraus

zog man den Schluss, dass diese Völker damals auch keine Empfindung für diese Farben gehabt hätten, also farbenblind gewesen seien.

Nach der treffenden Widerlegung, welche diese Hypothese durch Dor, Cohn, u. A. und besonders durch Krause in seinem interessanten Kosmos-Artikel erfahren hat, dürfte dieselbe nun wol für beseitigt gelten. Die Gegenbeweise sind in Kürze folgende:

1. Alle nordischen Kulturvölker haben weit mehr Ausdrücke für Farben und deren Abstufungen, als die südlicheren, da bei ihnen der durch die Jahreszeiten hervorgerufene Wechsel der Farben in der umgebenden Natur weit mehr die Aufmerksamkeit darauf lenken und zur Bezeichnung der charakteristischen Farben auffordern musste, als die satte aber einförmige Farbenpracht des Südens. (Anm. d. Verf.)

2) Die Nomenklatur der Farben gieng bei den verschiedenen Völkern Hand in Hand mit den Fortschritten in der Technik der Schönfärberei. (Krause)

3) Die Alten haben sich mit Vorliebe des Lapis lazuli zu ornamentalem Schmucke bedient, was bei Farbenblindheit der betreffenden Architekten höchst sonderbar wäre, da dieser Stein blos durch seine schöne blaue Farbe einen Vorzug vor dem Granit verdient (Krause).

4) Sowol in der Umgangssprache, als auch bei unseren Dichtern finden wir Ausdrücke, die höchst ungenau die bezeichnete Farbe charakterisiren. Ein Schluss späterer Forscher auf eine zu unserer Zeit allgemeine Farbenblindheit wäre ebenso logisch, wie der Obige. (Dor, c pag. 6).

5. Aus zahlreichen Untersuchungen geht hervor, dass die unkultivirten Völker einen mindestens ebenso feinen Farbensinn[1]), wie wir, aber keine Ausdrücke für blau und violet, und zum Teil auch für grün haben. (Allen, Almquist, Cohn (c.) Magnus (f.), Marthy, Schöler (c.), Virchow u. A.[2]).

---

1) Die gegenteilige Beob. Middendorf's an Tungusen (IV. Reise p. 1417) lässt sich wol auf die Ungenauigkeit der benutzten Methoden zurückführen, da damals (etwa 1845) noch keine zuverlässigen im Gebrauche waren.

2) Die betreffenden Arbeiten sind im Anhange angegeben.

6) Da nach den neueren Untersuchungen[1]) eine herabgesetzte Empfindlichkeit für eine gewisse Farbe begleitet zu sein scheint von einer geschwächten Empfindung für die Gegenfarbe (Komplementärfarbe), so müssten die Alten, wenn *blaublind*, *violetblind* und *grünblind*, auch *gelblind*, *gelbgrünblind* und *rotblind*, d. h. so ziemlich, totalfarbenblind gewesen sein. (Cohn d.)

7) Wäre die Farbenblindheit Atavismus, so müsste die Blaublindheit (nach der Geiger-Gladston-Magnus'schen Theorie) der häufigste Fall sein, während sie in Wirklichkeit sehr selten ist. (Ansicht mehrerer der obigen Forscher).

Wiewol die historische Entwickelung des Farbensinnes in der obigen Fassung *im höchsten Grade unwahrscheinlich ist*, so ist die Möglichkeit nicht ausgeschlossen: bei einer durch viele Generationen fortgesetzten Uebung, den Farbensinn zu entwickeln und die Farbenblindheit zum Verschwinden zu bringen.

Schluss.

Vorschläge.

Da die Untersuchungsmethoden bereits einen solchen Grad von Genauigkeit erreicht haben, dass wir im Stande sind, individuelle Schwankungen des Farbenschwäche bis zu $^1/_{20}$ des normalen Farbensinnes zu messen, so können wir an die Lösung zweier besonders wichtiger Fragen gehn.

I. Kann der fehlerhafte Farbensinn im Laufe der Zeit gebessert werden?

II. Können durch anstrengenden Gebrauch der Augen (z. B. bei dem Dienste an der Eisenbahn, wo der Lokomotivführer dem

---

1) Eine Ausnahme machen, wie schon oben bemerkt, Macé und Nicati.

plötzlichen Wechsel der Hitze und Kälte ausgesetzt ist) zeitweilige oder bleibende Störungen des Farbensinnes hervorgerufen werden?

—

Zur Lösung der ersten Frage möchte ich — da die Schule wol der einzige Ort ist, wo man mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit darauf rechnen kann, den grössten Teil der Untersuchten wieder vorzufinden, wenn man die Prüfung nach einigen Jahren wiederholt, und da der Schulbesuch etwa 8 Jahre dauert, Folgendes vorschlagen:

1) *In sämmtlichen Schulen ist die Prüfung des Farbensinnes obligatorisch einzuführen und alle vier Jahre zu wiederholen.*

2) In den Resultaten der Prüfung ist genau anzugeben:

a) der Name des Prüfenden und der untersuchten Farbenschwachen,

b) die Prüfungsmethoden, besonders die quantitativen und die Diagnose (mit Angabe der Skala der Farbenschwäche),

c) Das Datum, die Tageszeit und annähernd die Bewölkung.

3) Auf dem Schulzeugnis für Knaben sollte eine besondere Rubrik für die Angabe des Farbensinnes (womöglich auch der Sehschärfe) ihren Platz haben. Etwa in der Weise:

Beisp. (Sehschärfe, $S = 1$)

Farbensinn: Fs (rot-grün) $= {}^{0,8}/_{0,7}$ Fs (blau-gelb) $= {}^{0,0}/_{0,1}$.

Methode N. N. Datum der Untersuchung

Skala nach M. M. Name des Untersuchenden.

4) Nach jeder Prüfung sollte eine Kopie des Untersuchungsprotokolles im Schularchiv deponirt und im nächsten Jahresbericht ein Auszug derselben mit veröffentlicht werden. (Wie solches bereits in Boston geschehen, s. Joy Jeffries, d).

Anm. Wo kein Arzt zur Prüfung herangezogen werden kann, sollte die Untersuchung vom Lehrer der Physik oder der Naturgeschichte gemacht werden.

In Bezug auf die Prüfung des Farbensinnes an den Eisenbahnen und auf der Flotte müssen wir, da Farbenblindheit erworben werden *kann*, mithin die alleinige Prüfung der Eintretenden nicht genügt, Folgendes in's Auge fassen:

1. *Die Prüfung des gesammten Dienstpersonals muss mindestens alle zwei Jahre wiederholt werden;* ausserdem nach jeder Krankheit, bei welcher der Kopf resp. das Gehirn affizirt war.

2. Die Protokolle müssen eine vollständige Angabe der Namen aller Farbenschwachen, des Arztes und der betr. Prüfungsresultate (s. № 2 a. d. v. S.) enthalten und sind gehörigen Ortes zu bestimmten Terminen einzuschicken.

4. *Die gesammelten Berichte sind* von einem Spezialisten zu redigiren und in einer Fachzeitung *zu veröffentlichen.*

Anm. Um die Prüfung zu erleichtern und um eine bessere Vergleichbarkeit der Resultate zu erzielen ist es wünschenswert, dass eine Kommission von Spezialisten sich über die zweckentsprechendste Form von Blanquetten einigte.

Diese Blanquette sind auf Kosten der Eisenbahnverwaltungen zu drucken, den betreffenden Aerzten gratis zuzustellen und für einen mässigen Preis dem Buchhandel zu übergeben, damit sie auch Privaten zugänglich sind.

Zur Berichtigung:

pag. 10 (Anm.) ist statt: „Hering's Einwand (*b*, p. 17)" zu lesen: „Der Einwand, dass ...."

pag. 42 (Zeile 14 v. u.) ist statt: „62" zu lesen „96"

pag. 56 (Zeile 2 v. o.) ist statt 1867 zu lesen: 1865.

pag. 63 (Zeile 3 v. o.) ist statt $\frac{r-r'}{r'}$ zu lesen: $\frac{r'-r}{r'}$

Ergänzung zu C. pag. 39 (nach Daae's Tafel einzuschalten:)

d) Pseudoisochromatische Stäbchen (Donders)

e) Pseudoisochromatische Pulver (Mauthner *c*, 1881)

Beide Methoden dürften sich kaum in der Praxis bewähren. (vergl. Cohn *l*, pag. 6.)

ANHANG.

LITERATUR.

Dr. Joy Jeffries hat sich der dankenswerten Mühe unterzogen, die Literatur über den vorliegenden Gegenstand zu sammeln und zu sichten. (Sein Werk: Color-Blindness, etc. etc. (b. 2) enthält in d. Bibliographie c. 340 Autoren und etwa 745 Einzelarbeiten über den Farbensinn). — Da sich seine Angaben im Allgemeinen als sehr zuverlässig erwiesen (s. Vorrede), so kann ich mich hier auf die Angabe der Werke beschränken, auf die in dieser Arbeit hingewiesen wurde, oder die in Jeffries Werk noch nicht angeführt sind. Letztere wurden mit einem * bezeichnet.

Eine Erklärung der Abkürzungen ist dem Spezialisten überflüssig, und Andere werden die Mühe des Nachschlagens scheuen. [Der Kürze wegen sind die Abhandlungen, welche die Wirkung des Santonin behandeln, einfach eingeklammert].

Allen, Grant a) The Colour-Sense, its Origin and Development. London 1878.
*b) Der Farbensinn. Sein Ursprung und seine Bedeutung. (Leipzig, Günther 1880).

Almquist, *Untersuchungen über den Farbensinn der Tschuktschen (Breslau 1880).

Andree, Ueber den Farbensinn der Naturvölker (Zeitschrift für Ethnol. 10. Jahrg. p. 326. 1878).

Aubert, a) Physiol. der Netzhaut 1865. Breslau, Morgenstern.
*b) Grundzüge d. physiol. Optik (Leipzig, Engelmann 1876).

Bezold, v., Die Farbenlehre im Hinblick auf Kunst und Kunstgewerbe (Braunschweig, Westermann 1874).

Brücke, E. *Die Physiol. d. Farben für die Zwecke d. Kunstgewerbe (Leipzig, Hizel 1866).

Bukowa, Maria *[Zeitschrift für ration. Med. 1863 III. Reihe, Bd. 17, pag. 161].

Chodin, Ueber die Empfindlichkeit für Farben in d. Periph. d. Netzhaut. (Graefe's Arch. 1877. XXIII, 3. pag. 177).

Cohn, H. a) Farbensinn uud Lichtsinn bei Netzhautablösung und Drainage ders. (Centrbl. f. A. 1877 p. 145).

b) 1. Simultan-Kontrast zur Diagnose der Farbenblindheit. (Centrbl. f. Aug. pag. 35. 1878).

2. Gestickte Buchstaben zur Diagnose der Farbenblindheit. (Centrbl. f. Aug. pag. 77. 1878).

3. Untersuchung von 500 Schulkindern in Bez. auf Frbbl. (mit Magnus zus.) (Centrbl. f. Aug. pag. 97. 1878).

4. Beob. an 100 Farbenblinden. (Centrbl. f. Aug. pag. 29. 1878).

c) Ueber spektroskopische Unters. Farbenblinder (Centrbl. 1878 pag. 264.

d) Studien über angeborene Farbenbl. (Breslau, Morgenstern, 1877).

e) Sehschärfe und Farbensinn der Nubier (Centrbl. 1879 p. 197).

f) Quantitative Farbensinn-Bestimmung. (Knapp's. Arch. f. Aug. IX. 1879).

g) Farbensinn-Untersuchungen in direkt. Sonnenlicht und bei elektr. Licht. Bericht über die 12. Versammlung der opht. Gesellsch. zu Heidelberg (p. 6—9). 1879.

*h) Die Arbeiten des Prof. Holmgren und seine Kampfweise. Breslau, Morgenstern 1879.

*i) Ueber hypnotische Farbenblindheit mit Accommodationskrampf, und über Methoden das Auge zu hypnotisiren. Breslauer ärztl. Zeitschr. 1880 (p. 6).

*k) Das Verschwinden der Farbenblindheit beim Erwärmen des einen Auges. Deutsche med. Wochenschrift 1880 (p. 6). Breslauer ärztl. Zeitschr. 1880 (p. 8).

*l) Ueber die schnellste, einfachste und zuverl. Meth. zur Entd. d. Farbbl. (Berliner Klin. Wochenschr. 1881, № 19. p. 1.

Daae, A. a) Farveblindhed og opdagelse af farveblinde med tabel.. (Kragerö, Bundis, 1877).

b) Farbenblindheit und Entdeckung von Farbenblinden. Centrbl. f. prakt. Aug. 1878.

c) Die Farbenbl. und deren Erkennung (übersetzt von Sänger) mit Tabelle 1878 (Berlin, Dörffel oder Hirschwald).

Dalton, John. Memoirs of the Literary Society of Manchester vol. V.: Part. I. 1798 (Extraordinary facts relating to the vision of colours; with observations. Read oct. 31. 1794).

Delboeuf (et W. Spring).

a) Moyen de produire et de corriger le Daltonisme 1878.

b) Rapport sur les questions relatives au Daltonisme intéressant les admistrations de chemin de fer 1878.
(Ces deux notes ont paru dans les Bulletins de l'Académie de Belgique).

c) Le Daltonisme. Recherches expér. et théoriques. 1878.
(Dans la Revue scientifique de Paris du 23 Mars.)

Dobrowolsky. a) Ueber die Empfindl. des Auges gegen die Lichtintensität verschiedener Spektralfarben.

b) Zur Kenntnis der Empfindlichkeit des Auges gegen Farbentöne. Beide in Graefe's Arch. 1872. XVIII, 1 pag. 53—103.

c) Ueber die Empfindlichkeit des Auges gegen die Lichtintensität der Farben im Centrum und in der Peripherie der Netzhaut. Pflüger's Arch. 1876.

*d) Les verres dits «fumes» doivent être préferés aux verres bleus pour préserver la vue de l'éclat de la lumière. Annales d'oculistique 1873.

*e) Ueber die Veränderung der Empfindlichkeit des Auges gegen Spektralfarben, bei wechselnder Lichtstärke derselben (Pflüger's Arch. f. d. ges. Phys. XXIV. pag. 189). Separatabdruck 1881. (Bonn, E. Strauss).

Добровольскій В. Н. *Объ измѣненіи чувствительности глаза къ спектральнымъ цвѣтамъ при измѣняющей яркости послѣднихъ (Еженед. Клинич. Газета Боткина 1881, № 3 и 4. — Russ. Uebers. der vorigen Arbeit).

Donders *a) De quantitatieve bepaling van het kleuronderscheidingsvermogen (in het 18d jaarlijksch Verlag van het Ned. Gasthuis voor Voglijders, p. 76. — Onderzoekingen, gedaan in het physiologisch laboratorium der Utrechtsche Hoogeschool III Serie V pag. 76) 1877.

b) Die quantitative Bestimmung des Farbenunterscheidungsvermögens. Arch. f. Opht. III, 4 (pag. 282) 1877.

(Desgl. französ. Ann. d'Ocul. T. LXXIX pag. 275 und Arch. Neerl. des sciences exp. T. XIII. pag. 91.

*c) Remarks on Colours and Colour-Blindness. (British Med. Journal Nov. 13, 1880).

*d) Ueber Spectralapparate für Farbenblinde. (Zehender's klin. Monatsbl. f. Aug. 1881 Maiheft). (Diese Arbeit konnte, da das III Kap. bereits gedruckt war, nicht mehr berücksichtigt werden! Der Verf.).

Dor, Dr. H. a) Ueber Farbenblindheit (gegen die Young-Helmholtz'sche Theorie) (Sitzg. der Bernischen Naturforsch.-Gesellsch. vom 20. Juli 1872).
Desgl. französisch. in: Lyon. Médical. 1874 (p. 201).

b) De l'évolution historique du sens des couleurs;
Rèfutation des théories de Gladstone et de Magnus. (Paris, G. Masson 1878).

c) Beitrag zur geschichtlichen Entwickelung des Gesichtssinnes; Eine Entgegnung an Gladstone und Magnus. (Bericht über d. 11. Verh. d. Opht. Gesellsch. Heidelberg 1878).

d) Échelle pour mesurer la vision chromatique (Paris, G. Masson 1878).

e) Dor et Favre: Nouvelles recherches sur la détermination quantitative de la vision chromatique. (Lyon, association typographique 1878).

Dove. *Darstellung d. Farbenlehre u. opt. Studien (Berlin, Decker 1851).

Favre, Dr. A. a) Réforme des employés de chemin de fer affectés de Daltonisme. Lyon Médical. 1873.

b) Résumé des memoires sur le Daltonisme, présentés a l'Académie des Sciences par A. Favre D. M. P. (1873—1876) Lyon 1876.

c) Le traitement du Daltonisme dans les écoles. Lyon 1877.

d) Recherches cliniques sur le Daltonisme, Éléments de statistique.
Congrés du Havre (du 27 août 1877) et Gazette hebdomadaire de méd. et de chir. Paris, 1877.

e) Des mesures sanitaires et des moyens préventives, nécessités par le D. (1878).

f) Le traitement du D. chez l'enfant et l'adulte (1879). } Paris, G. Masson.

g) *La dyschromatopsie dans ses rapports avec la médecine publique (1880).

Féris, Dr. Du Daltonisme dans ses Rapports avec la Navigation (Paris, Arch. de méd. navale XXV., Avril 1876.

Fick, Dr. A. Zur Theorie der Farbenblindheit. (Würzburg, Verh. der phys.-med. Ges. n. F. Bd. V. 1873) (pag. 129).

Fontenay, Dr. O. E. de.

a) Oplysninger om den medfödte Farvenblindheds Forekomst i Danmark et Bitrag til Farvenblindhedens Statistik med Farvetavle [prämiirt v. d. Königl. Dän. Gesellschaft der Wissensch. 1878. Nordisk med. Ark. XII 2. Teil].

*b) (Auszug) Resultats of Color-Blindness in Dänmark (Boston, Med. Journ. 1879 ?). (Deutsch im Centralbl. f. Aug. Mai 1879, pag. 135).

*c) Oplysninger om den medfödte Farveblindheds Forekomst i Danmark, et Bitrag til Farveblindhedens Statistik (Nordisk medic. ark. Bd. XII № 8 u. № 15, 1880 p. 1). Enthält die qualit. Prüfung von 217 Farbenblinden.

Giraud-Teulon, *Des Observations du sens chromatique ou du Daltonisme (Arch. Génér. de Med. Jan. 1881).

Göthe *a) Tag- und Jahreshefte 1798, und: Briefe an Heinr. Meyer (20. Nov. 1798 u. 12. Febr. 1799).

b) Farbenlehre 1810. Didaktischer Theil § 104 (pag. 126—190).

Geiger, Lazarus a) Ueber den Farbensinn der Urzeit und seine Entwickelung (Stuttgart, Cotta 1871).

*b) Ursprung und Entwickelung d. menschl. Sprache und Vernunft (daselbst 1872).

Gladstone a) Studies on Homer and the Homeric age. (Oxford 1850).

b) Der Farbensinn. (Breslau, Kern 1878).

Günther, *Ein Problem der physiol. Phys. in s. Bezieh. zur Ethnologie (Kosmos 1880, IV Jahrg. H. 8).

Grossmann. *Die Messung der Sehschärfe des Farbensinnes. (Ing. Diss. Greifswald 1880).

Hasner. (Prag). Ueber Farbenscheu. (Centrbl. f. Aug. 1881. Jan. pag. 1).

Helmholtz. Physiolog. Optik. (Leipzig, Voss 1867).

Hering a) Zur Lehre vom Lichtsinn (6 frühere Mittheil. enthaltend) (Wien, Gerold's Sohn 1878).

*b) Zur Erklärung der Farbenbl. aus d. Theorie d. Gegenfarben. (Prag, Tempske 1880).

Hirlinger. Prüfungstafeln für den Farbensinn (Stuttgart, Moser 1878).

Hochäcker, Dr. Th. (Farbenblind). Ueber angeborne Farbenbl. (Arch. f. Opht. XIX, 3 p. 1).

Holmgren, Dr. Frithjof.

a) Om färgblindhet och den Joung-Helmholtzka fargtheorien. (In Upsala Läkareförenings Forhandlinger Bd. VI. 1870—71).

*b) Ett fall af färgblindhet (do. Bd. X 1874—75).

c) *Om färgblindheten i dess förhållande till jernvägstrafiken och sjövasendet. (do. Bd. XII. 1876—77).

De la Cécité des Couleurs dans ses Rapports avec les chemins de fer et de la marine. Paris, G. Masson 1877).

Die Farbenblindheit in ihren Beziehungen zur Eisenbahn und zur Marine, (Leipzig, Vogel 1878).

Colourblindness in its relation to accidents by rail and sea. (Washington, Smithsonian Institut 1878).

*Цвѣтовая слѣпота глазъ. (С.-Петербургъ 1879).

Ausführliche Referate im Dänischen, Italienischen, Poln. etc. (In demselben Bande befinden sich noch Abhandlungen von Holmgren. Ebenso in Bd. XIII. 1877—78 und Bd. XIV. 1878—79).

d) Die Arbeiten des Herrn Prof. Cohn über Farbenblindheit Erwiderung. XIV. 1879.

*e) Bitrag till belysning af frågan om färgsinnets historiska utveckling (do. Bd. XV. 1879—80).

*f) Huru de färgblinde se färgerna (do. Bd. XVI 1880—81).

*g) Ueber subjective Farbenempfindung der Farbenblinden. Centrbl. f. med. Wiss. 1880 № 49, 50).

Horner. Die Erblichkeit des Daltonismus. (Zürich Opht. Klin. 1876. Monatsbl. f. Aug. Juli 1878, p. 321).

Huddart. An Account of persons, who could not distingish colours. In a letter to the Rev. Ios. Priestley. (Philosoph. Transaction of the Royal Society. London 1777. Vol. LXVII, Part. I. p. 260).

Hüfner [Arch. f. Opht. 1867, XIII 2, pag. 309].

Jeffries, Dr. B. Joy.

a) Dangers from Colorblindness in Railroad Employés and Pilots. (Boston, Rand, Avery & Co. 1878).

b 1) Color-Blindness, its Dangers and its Detection. (Boston Houghton, Osgood & Co. 1879).

2) *dito 1880.

(Dieses Werk enthält eine ungemein reichhaltige, aber leider nicht gut geordnete Bibliographie).

*c) Colorblindness and Defective Vision. Their Control on Land and Sea etc. (Sunday Herald, July 25. 1880).

*d) Report of the examination of 27927 scool-children for Color-blindness. (1880 Boston Bockwell and Churchill). School Document № 13.

Kalischer, Dr. S. Die Farbenblindheit, eine allgemein verständl. Darstellung ihrer Bedeutung, der Theorien, ihres Vorkommens und der Prüfungsmethode (Berlin, Hempel 1879).

Krause, Dr. E. a) Die geschichtliche Entwickelung des Farbensinnes. Kosmos I Jahrg. 1877 (p. 264 und p. 428).

*b) Die «Entwickelung» des Farbensinnes (Gartenlaube 1880, № 44 p. 718).

Kolbe, Bruno *a) Beschreibung eines Farbenmessers zur numerischen Bestimmung von Pigmentfarben und zur graduellen Abschätzung der Farbenblindheit (St. Petersb. Med. Wochenschr. 1881, № 18, p. 154).

*b) Farben-Sättigungstafel zur graduellen Abschätzung der Farbenblindheit. Mit deutsch-russisch-französischem Text. (Petersburg, Oskar Kranz. — Leipzig, E F. Steinacker).

Krenchel, W. *Ueber die Hypothesen von Grundfarben (Gräfe's Arch. f. Opht. 1881. XXVI, 1 p. 91).

Kunkel, Ueber die Abhängigkeit der Farbenempfindung von der Zeit. (Pflüger's Arch. f. Physiol. 1874. Bd. IX. pag. 197).

Kries und Küster, *Ueber angeb. Farbenbl. (Arch. f. Anat. und Physiol. 1879. Phys. Teil p. 513).

Lambert, *Beschreibung einer mit dem Calau'schen Wachse ausgemalten Farbenpyramide (Berlin, Haude u. Spener 1772).

Leber, *Die Störungen des Farbensinnes (Die Krankheiten der Netzhaut und der Sehnerven, Graefe-Saemisch's Handbuch der ges. Augenheilk. Bd. V p. 1017).

Lederer, Dr. Adolf. Zur Mechanik der Farbenwahrnehmung (Kosmos, März 1879).

Magnus, Dr. Hugo. a) Die geschichtliche Entwickelung des Farbensinnes (Leipzig 1877).

b) Die Farbenblindheit, ihr Wesen und ihre Bedeutung dargestellt für Behörden, praktische Aerzte, Bahnärzte, Lehrer u. s. w. (Breslau, Kern 1878).

c) Zur spektroskopischen Untersuchung Farbenblinder (Centralbl. f. prakt. Aug. 1878. April- und Oktoberheft).

d) Die methodische Erziehung des Farbensinnes (Breslau 1879, mit einer Farbentafel und 72 Farbenkärtchen).

*e) Ein Fall von angeborener totaler Farbenblindheit (Centralbl. f. prakt. Aug. 1880 Dezemberheft).

*f) Ueber den Farbensinn der Naturvölker (Jena 1880).

Marthy, Dr. A. Die Frage nach der geschichtlichen Entwickelung des Farbensinnes (Wien, C. Gerold's Sohn 1879).
(Referirt in «Beiträge zur Kunde der indogermanischen Sprachen» von Dr. Adalb. Bezzenberger, Bd. V, Heft III, Göttingen Peppmüller 1880).

Martini, *[Comptes rendus 1858. T. 47 pag. 259].

Mautner, *Prüfung des Farbensinnes 1879 (p. 282).

*Das Wesen und die Bestimmung der Farbenbl. (Mittheil. des Wiener Doktorkolleg. 1880, 1 u. 2, Sitzg. vom 20. Dez. 1880).

Macè, J. et W. Nicati. *a) Recherches sur de daltonisme (Compt. rendus, 27. Oct. 1879).

*b) Étude de la distribution de la lumière dans le spectre (Comptes rendus. 31 mai 1880).

*c) Étude de la distr. de la lumière cl. l. sp. (Compt. rend. 11 oct. 1880).

*d) do. — Spectre des daltoniens (27 décembre 1880).

Newton, Optic. Lib. 1. P. II. Prop. IV — VI. 1704.

Никитинъ, А. *Къ вопросу о количествомъ опредѣленія цвѣтоощущенія. Диссертація. С.-Пб. 1879.
(Nikitin, Zur Frage der quantitativen Bestimmung des Farbensinnes. Inaug. Diss. Petersburg 1879).

Plateau, Ueber das Phänomen der zufälligen Farben (Pogg. Ann. 1834. Bd. 32 pag. 543).

Pole, William. (Farbenblind). Ueber Entw. des Farbensinnes (Nature 24. u. 31. Okt. 1878).

Preyer, *a) Ueber den bei manchen Personen vorkommenden Mangel an Farbensinn (Pogg. Ann. XLII p. 177).

*b) Ueber Farbenblindheit. Centralbl. 1881. № 1 pag. 1.

Pflüger (Bonn), Ueber Gesichtsempfindungen (Unters. aus d. phys. Laboratorium zu Bonn. Berlin 1865 pag. 170 und Arch. f. d. ges. Phys. Bd. 15 pag. 91).

Pflüger, E. (Bern). *a) Ueber Prüfung des Farbensinnes (Centralbl. f. Aug. März 1878).

*b) Mitteilungen in d. Sitzung d. Heidelb. opht. Ges. 1878).

c) Methoden zur Untersuchung auf Farbenblindheit (Correspondenzbl. f. Schweizer Aerzte 1779. IX. p. 1).

*d) Beobachtungen an Farbenblinden (Arch. f. Opht. v. Knapp. IX, 4. 1879).

*e) Tafeln zur Bestimmung der Farbenblindheit (Mit Text. Bern, Dalp 1880.

Anm. Ausserdem ist unter der Anleitung von Prof. E. Pflüger eine Dissertation (Minder, Zur Lehre v. d. Farbenbl. 1878 Bern) ausgearbeitet worden.

Raehlmann, a) [Graefe's Arch. f. Opht. 1873, Bd. IX, 3, pag. 88].

b) Ueber das Verhältniss der Farbenemp. bei direkt. und indir. Sehn. — do. 1874 Bd. XX, 1, pag. 15.

c) Ueber Reizschwellenwerte der versch. Spectralfarben an versch. Stellen d. Netzhaut. 1874 XX, 1, pag. 232.

d) Ueber den Farbensinn bei Sehnervenerkrankungen. 1875, XXI, 2, pag. 27.

e) Ueber d. Daltonismus und die Young'sche Theorie. 1876, XXII, I, pag. 29.

Reich, Das Perimeter und seine Anwendung (Ign. Diss.; Klin. Monatsbl. 1874, pag. 247).

Reuss, Dr. A. v. a) Ueber Farbenblindheit (Wiener Klin. März 1879, p. 65; Wiener Med. Presse 1879, № 9).

*b) Цвѣтовая слѣпота. Изъ журн. «Вѣскаго Клиника» Т. I № 1. Переводъ съ нѣмецкаго подъ редакціею Д-ра Добровольскаго. — Ст.-Петербургъ, у Цылова 1881.

Rose, E. *a) [Ueber stehende Farbentäuschungen. Gräfe's Arch. f. Opht. Bd. VII, 2].

*b) [Virch. Arch. XXVIII]. (In demselb. Arch. noch mehr.)

Runge, O. Konstruktion der Farbenkugel (Hamburg 1810).

Sartisson, Ueber Farbenblindheit (St. Petersb. Med. Wochenschr. 1876, № 38 p. 4).

Seebeck, A. Ueber den bei manchen Pers. vorkommenden Mangel an Farbensinn (Pogg. Ann. 1837. Bd. XLII, № 10, pag. 177).

Schirmer, *Farbenblindheit (Eulenburg's Real-Encyclopädie f. d. Ges.-Heilk. Bd. V).

Stilling, J. a) Beiträge zur Lehre von den Farbenempfindungen. 4 Hefte (Beilage zu Zehender's klin. Monatsbl. f. Aug. 1875—76).
Ferner bei Th. Fischer in Cassel erschienen:
b) Die Prüfung des Farbensinnes beim Eisenbahn- und Marinepersonal. N. Folge 1878. II. Lieferung 1879. (Tafeln zur Bestimmung der Rot-grünblindheit).
c) Tafeln zur Bestimmung der Blau-gelbblindheit. 1877.
*d) Ueber das Sehn der Farbenblinden (mit Atlas) 1880.

Schoeler. *a) Ueber Rot-Blaugrün- und Grün-Purpurblindheit (Jahresbericht der früher Evers'schen Augenklinik im Jahr 1878. Berlin. Peters 1879).
*b) Ueber d. Stellung d. Opht. zur Antropol. (Virchow's Arch. f. klin. Med. 1878).
*c) Ophthalm. Untersuchungen an Nubiern und Negern (Zeitschrift f. Ethnol. 1880. Bd. XII. I, pag. 59).

Schön, W. Zur Farbenempfindung (I. Farbenstörung bei d. Atrophie des Sehnerven. II. Farbenstörung durch Santonin. Berliner Klin. Wochenschr 1874, № 29).

Schroeder, C. a) Farbige Schatten. Arch. f. Augenheilkunde 1873 p. 354
b) Die Entwickelung des Farbensinnes am menschl. Auge (Berl. Klin. W. 1879 № 36).

Virchow, K. Farbensinn der Lappländer (Bericht d. Berliner Ges. für Antrop, Ethnol. u. Urgesch. Sitz. v. 15. März 1879. pag. 64).

Weber, Ad. Apparat zur numerischen Prüfung des Farbensinnes (Beilageheft zu dem Monatsbl. f. Augenh. 1878. XVI. pag. 130).

Weinhold, A. Ueber die Farbenwahrnehmung (Pogg. Ann. N. F. II. pag. 631).

Woinow. Ueber Farbenempfindung (Graefe's Arch a) 1870. XVI. p. 212; b) XVI, 1, pag. 252; c) XVII, 2, pag. 241; Klin. Monatsschr. Aug. 1877 pag. 377 etc. etc.).

Wilson, George. Researches on colour-blindness, with a supplement on the danger attending the present system of railway and marine coloured signals. Edinbourgh 1855.

Young, Th. Phil. Trans. London 1801. Part. I pag. 33.

Darstellung harmonischer Farben.

A) Racinet, M. A. L'ornement polychrome. Paris, Firmin Didot, frères fils et Co.

B) Bourgoin, Jules. Les Arts Arabes. Paris, Vve A. Morel et Cie. 1873.
C) Lay, Felix in Agram. Ornamente Südslavischer nationaler Haus- und Kunstindustrie (Ornements des arts et metiers des Slaves du sud). Selbstverlag.
D) Avennes, Pr. d'. L'Art Arabes d'après les monuments du Kaire. Paris, Morel.
E) Guichard, E. (Deutsch v. Dr. G. Krebs). Harmonie der Farben (Frankfurt. W. Rommel. Paris, Ad. Gouband et fils) in Lieferungen.
F) Farbenkreis in 15 Abstuf. und 20 Anwendungstafeln nach E. Brückes Phys d. Farben (Wien, Hartlinger und Sohn 1878?), enthält harmonische Triaden.

Unter den angeführten Werken sind für ein grösseres Publikum geschrieben, und Allen sich für diese Frage Interessirenden sehr zu empfehlen:

Holmgren. 1) De la cécité des couleurs etc. (c2); 2) Die Farbenblindheit u. ihre Bez. etc. (c3).
Jeffries, Joy. Color-blindness, its Dangers and its Det. (b2) (enth. die vorhergehende Arbeit im Auszug).
Stilling. Ueber das Sehen der Farbenblinden (d).

In gedrängter Darstellung bieten eine kurze Uebersicht:

Kalischer. Die Farbenblindheit (S. o.). — Magnus, Die Farbenblindheit (a).

Von Arbeiten, die einzelne Gebiete speziell behandeln:

Krause. Die geschichtl. Entw. des Farbensinnes (a). — Lederer. Zur Mechanik der Farbenwahrnehmung (s. o.).
Delboeuf: Le Daltonisme etc. (c).

Vom theoretischen Standpunkte aus ist die Harmonie der Farben besprochen in den oben angegebenen Werken von Brücke und Bezold.

Reizkurven nach Young-Helmholtz. (Zu pag. 8.)

Fig. 1. Normaler Farbensinn.

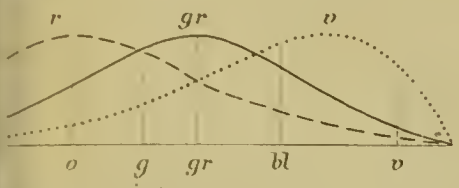


Fig. 2. Rotblindheit.

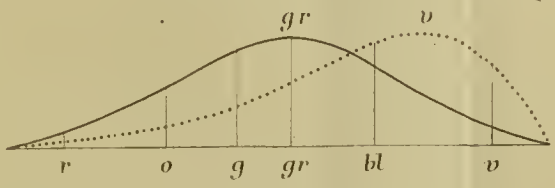


Fig. 3. Grünblindheit.

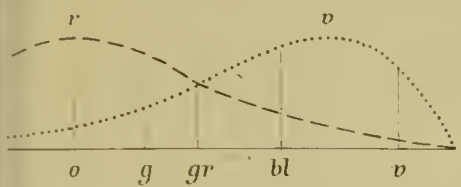
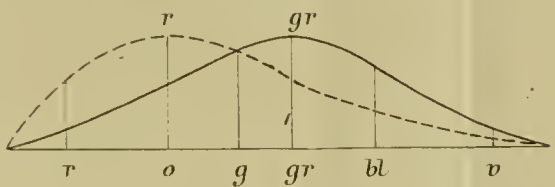
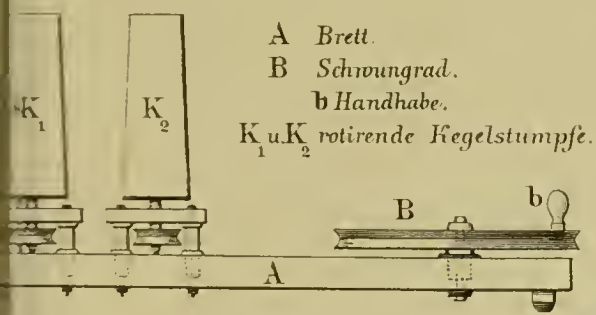


Fig. 4. Violetblindheit.



Farbenmesser. (pag. 60.)



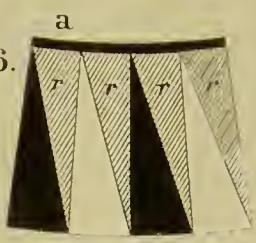
A *Brett.*
B *Schwungrad.*
b *Handhabe.*
K_1 u. K_2 *rotirende Kegelstumpfe.*

Maßstab 1 : 100.

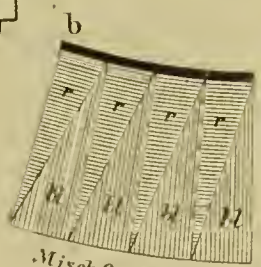
messer d. K_1 u K_2 = 60 mm
" " = 66 mm
he = 200 mm
des Rades B = 260 mm
" " r = 40 mm

Kegelstumpfmäntel.

Fig. 6.



Sättigung (rot)



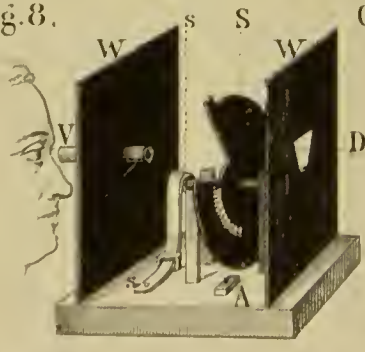
Mischfarbe (r bl)

dk. Schatt. einer Mischf. (r g)

pag. 59.)

värzte Maxwell'sche Scheibe mit
nitten, zur Vermind. d. Intensität
ichtes. *Verdunk. = 4/5*

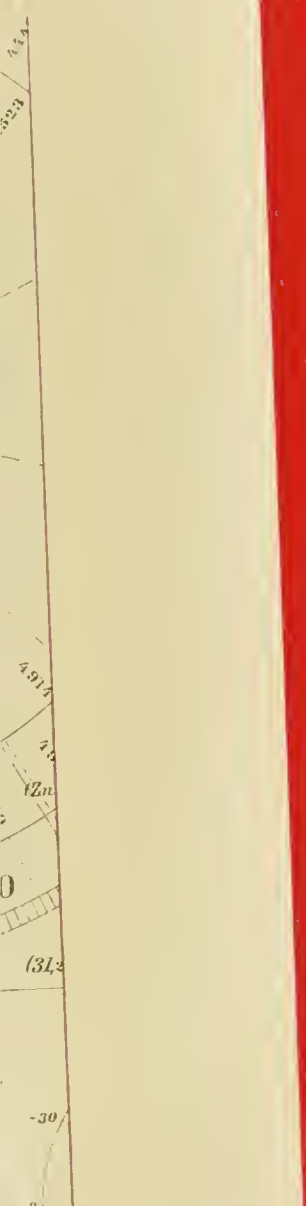
Fig. 8.



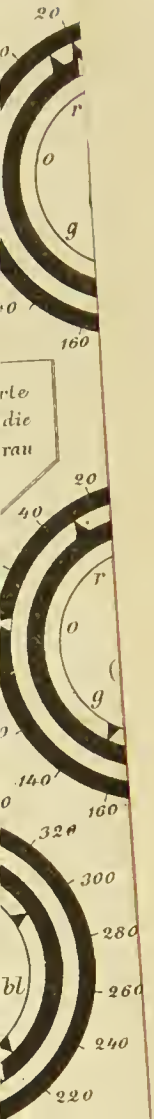
Chromatometer.

(pag. 61.)

S *rotir. Scheibe.*
s *Spiralfeder.*
W *schw. Schirm.*
V *Visirrohr.*
A *Gummipuffer*
D *Diaphragma.*



ab. E


20
r
o
g
160
rte
die
rau
20
40
r
o
g
140
160
320
300
280
260
240
220
bl

DRUCKFEHLER.

Ausser den (pag. 93) angeg. sinnstörenden Druckfehlern sind noch folgende zu vermerken:

pag. 3, Zeile 3 v. u. statt (c, pag. 17) lies: (c 3, pag. 19).
» 44, » 16 v. o. » Hirshberg » Hirschberg.
» 46, » 8 v. u. » in zwei Fällen lies: in zwei von 7 Fällen.
» 57, » 8 v. u. » Meter lies Millimeter.
» 64, » 16 v. o. » dem lies: der.
» 64, » 1 v. u. » Krantz lies: Kranz.
» 68, » 4 v. u. » $\overset{5}{1{,}33\%}$ lies: $\overset{5}{6{,}50\%}$
» 79, » 2 v. o. (rechts) statt = **0,1** lies: = 0, **01** der Sättigung.
» 81, » 14 v. o. (links) statt 55° **42** 42 **15** lies 155° **11** 42 **22**.
» 88, » 8 v. o. statt **uns** lies nur.
» 95, » 3 v. o. » Bukowa lies Bokowa.
» 101, » 15 v. o. » 1880, 1 u. 2 Sitzg. lies 1881.
» 101, » 13 v. o. » Mautner lies Mauthner.
» 102, » 13 v. u. » Вѣнскаго lies Вѣнская.

Taf. I, Fig. 8 statt (pag. 61) lies (pag. 54).

Taf. III, Fig. 1 statt F5 $\overset{=}{>}$ lies Fs $\overset{=}{>}$.

Anm. I. Mauthner's pseudoisochromatische Pulver sind zu beziehn durch I. F. Bergmann (Wiesbaden).

Anm. II. Die Resultate der Untersuchungen am Forster'schen Perimeter (das Dr. Magawly mir zu leihen die Freundlichkeit hatte) sind nicht angeführt, da die einzelnen Angaben schlecht stimmten indem die Untersuchten 5 Schüler zu ungeübt waren.